

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Отделение Электроэнергетики и электротехники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Разработка гибридной системы электроснабжения автономных объектов НК Роснефть с использованием ВИЭ

УДК 621.311.26:622.323

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM8Ч	Жданов Иван Сергеевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОЭЭ ИШЭ	Обухов Сергей Геннадьевич	д.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Спицына Л.Ю.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Романова С.В.	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Производство и транспортировка электрической энергии	Рахматуллин Ильяс Аминович	к.т.н.		

Томск – 2020 г.

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Отделение Электроэнергетики и электротехники

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

_____ Рахматуллин И.А.

**ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

магистерской диссертации
(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
5АМ8Ч	Жданов Ивану Сергеевичу

Тема работы:

Разработка гибридной системы электроснабжения автономных объектов НК Роснефть с использованием ВИЭ	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	44-45/с от 13.02.2020 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объект электроснабжения, расположенный в труднодоступном районе Ханты-Мансийского автономного округа, Нефтеюганского района. Крановый узел насосной станции с сопутствующим оборудованием: привод задвижки, контрольно-измерительные приборы и автоматика, связь, пожарная сигнализация, шкаф технических средств охраны, щит собственных нужд, освещение площадки, укрытия, прочие потребители
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ol style="list-style-type: none">1. Изучение особенностей электроснабжения, технических требований и определение категорийности потребителей магистрального газопровода.2. Изучение опыта и возможности применения гибридных систем на изолированных объектов нефтегазовой отрасли и объектов северных районов.3. Рассмотрение способов оптимизации состава генерирующего оборудования электростанции4. Анализ потребителей по исходным данным

	технического задания 5. Технический расчет состава гибридного энергокомплекса 6. Оптимизация состава оборудования
Перечень графического материала	Демонстрационный вариант (презентация в MS Power Point)
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент	Спицына Любовь Юрьевна
Социальная ответственность	Романова Светлана Владимировна
Раздел на иностранном языке	Егорова Юлия Ивановна
Название раздела, который должен быть написан на русском и иностранном языке	
?	
Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОЭЭ ИШЭ	Обухов Сергей Геннадьевич	д.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ8Ч	Жданов Иван Сергеевич		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
5AM8Ч	Жданову Ивану Сергеевичу

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение школы (НОЦ)	Отделение электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материальных ресурсов определялась по средней стоимости по г. Томску. Оклад научного руководителя - 26 300 руб. Оклад инженера - 17 000 руб. Бюджет проекта – не более 600 тыс. руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	-районный коэффициент - 30%; -норма амортизации - 20%;
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Социальные отчисления - 30% от фонда заработной платы. Ставка дисконтирования - 12%.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Планирование работ и оценка времени на их выполнение
2. Разработка устава научно-технического проекта	Цели и результат проекта
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Смета затрат на проект
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Оценка полученных результатов

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. «Портрет» потребителя результатов НТИ
2. Сегментирование рынка
3. Оценка конкурентоспособности технических решений
4. Диаграмма FAST
5. Матрица SWOT
6. График проведения и бюджет НТИ
7. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ
8. Потенциальные риски

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Спицына Любовь Юрьевна	к.э.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM8Ч	Жданов Иван Сергеевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5AM8Ч	Жданову Ивану Сергеевичу

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение школы (НОЦ)	Отделение электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Тема ВКР: «Разработка гибридной системы электроснабжения автономных объектов НК Роснефть с использованием ВИЭ»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является гибридная электростанция для электроснабжения автономных объектов
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	– Федеральный закон «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» от 28.12.2013 г. №123 – Федеральный закон «О специальной оценке условий труда» от 28.12.2013 г. №426
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	– отклонение показателей микроклимата; – повышенный уровень шума на рабочем месте; – недостаточная освещенность рабочей зоны; – воздействие электромагнитного поля; – риск поражения электрическим током; – механические травмы.
3. Экологическая безопасность:	– выделение продуктов горения при пробое твердого диэлектрика.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	– наиболее вероятной чрезвычайной ситуацией является пожар в рабочем помещении при проведении опытов.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	11.02.2020
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Романова Светлана Владимировна	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM8Ч	Жданов Иван Сергеевич		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ
по основной образовательной программе подготовки магистров
13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Универсальные компетенции</i>		
P1	<i>Совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, добиваться нравственного и физического совершенствования своей личности, обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности.</i>	Требования ФГОС (ОК-1, ОК-2), Критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P2	<i>Свободно пользоваться русским и иностранным языками как средством делового общения, способностью к активной социальной мобильности.</i>	Требования ФГОС (ОК-3), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	<i>Использовать на практике навыки и умения в организации научно-исследовательских и производственных работ, в управлении коллективом, использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности.</i>	Требования ФГОС (ОК-4, ОК-5, ОК-6, ОК-7, ПК-31), Критерий 5 АИОР (п. 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P4	<i>Использовать представление о методологических основах научного познания и творчества, роли научной информации в развитии науки, готовностью вести работу с привлечением современных информационных технологий, синтезировать и критически резюмировать информацию.</i>	Требования ФГОС (ОК-8, ОК-9, ПК-14, ПК-19), Критерий 5 АИОР (п. 1.6, 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P5	<i>Применять углубленные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания в междисциплинарном контексте в инновационной инженерной деятельности в области электроэнергетики и электротехники</i>	Требования ФГОС (ПК-1, 2, 36) ¹ . Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P6	<i>Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа в области электроэнергетики и электротехники с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний, аналитических методов и сложных моделей в условиях неопределенности</i>	Требования ФГОС (ПК-5, 6, 7, 9). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P7	<i>Выполнять инженерные проекты с применением оригинальных методов проектирования для достижения новых результатов, обеспечивающих конкурентные преимущества электроэнергетического и электротехнического производства в условиях жестких экономических и экологических ограничений.</i>	Требования ФГОС (ПК-10, 11, 12, 13). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P8	<i>Проводить инновационные инженерные исследования в области электроэнергетики и электротехники, включая критический анализ данных из мировых информационных ресурсов.</i>	Требования ФГОС (ПК-14, 36, 39 – 44). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P9	<i>Проводить технико-экономическое обоснование проектных решений; выполнять организационно-плановые расчеты по созданию или реорганизации производственных участков, планировать работу персонала и фондов оплаты труда; определять и обеспечивать эффективные режимы технологического процесса.</i>	Требования ФГОС (ПК-19, ПК-23, ПК-27, ПК-30, ПК-31, ПК-32), Критерий 5 АИОР (п. 1.5, 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P10	<i>Проводить монтажные, регулировочные, испытательные, наладочные работы электроэнергетического и электротехнического оборудования.</i>	Требования ФГОС (ПК-45, ПК-46), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
		международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P11	<i>Осваивать новое электроэнергетическое и электротехническое оборудование; проверять техническое состояние и остаточный ресурс оборудования и организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт.</i>	Требования ФГОС (ПК-15, ПК-47, ПК-48, ПК-49, ПК-50), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P12	Разрабатывать рабочую проектную и научно-техническую документацию в соответствии со стандартами, техническими условиями и другими нормативными документами; организовывать метрологическое обеспечение электроэнергетического и электротехнического оборудования; составлять оперативную документацию, предусмотренную правилами технической эксплуатации оборудования и организации работы.	Требования ФГОС (ПК-28, ПК-33, ПК-40, ПК-41, ПК-44), Критерий 5 АИОР (п. 1.3, 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Уровень образования Магистратура

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Период выполнения (осенний / весенний семестр 2019/2020 учебного года)

Форма представления работы:

магистерская диссертация

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
19.02.2020	Обзор литературы	15
24.03.2020	Методика проведения исследования	20
01.04.2020	Экспериментальные результаты	35
24.04.2020	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	10
04.05.2020	Социальная ответственность	10
24.05.2020	Обязательное приложение на иностранном языке	10
		100

Составил преподаватель ВКР:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОЭЭ ИШЭ	Обухов Сергей Геннадьевич	д.т.н		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
13.04.02 Электроэнергетика и электротехника	Рахматуллин Ильяс Аминович	к.т.н		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа включает 147 страниц, 34 рисунков, 43 таблицы, 57 источников, 7 приложений

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, ветрогенератор, гибридная электростанция, система электроснабжения, дизель-генератор, аккумуляторная батарея, электроэнергия, математическое моделирование.

В данной работе проанализированы возможные варианты состава гибридной электростанции для децентрализованного электроснабжения сервисного объекта газоснабжения. Большинство таких объектов в России не подключены к центральной энергосистеме и имеют дорогостоящее электроснабжение от дизель-генераторов. Рассматриваемый объект находится в Ханты-Мансийском автономном округе, имеет потенциал использования источников возобновляемой электроэнергии. Таким образом, интеграция возобновляемых источников энергии в комбинации с дизельной энергосистемой может снизить стоимость электроэнергии. Проведены оптимизация состава оборудования гибридной электростанции, технико-экономическая оценка результатов интеграции возобновляемых источников энергии.

Аббревиатуры

ВПМГ - вдольтрассовый потребитель магистрального газопровода

ВИЭ - возобновляемые источники энергии

АЭ - автономные энергокомплексы

ЭК - энергокомплекс

ВЭУ - ветроэнергетическая установка

АБ - аккумуляторная батарея

ДЭС - дизельная электростанция

ДГУ - дизельная генераторная установка

САУ - система автоматического управления

ВДЭС - ветродизельная электростанция

ВЭС - ветровая электростанция

АСУ ТП - автоматизированная система управления технологическим процессом

АВР – автоматическое включение резерва

ЧПС – чистая приведенная стоимость

ДП – денежный поток

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	12
1. Текущее состояние электроснабжения основных потребителей магистральных газопроводов и возможности использования возобновляемых источников энергии.....	14
1.1 Особенности электроснабжения основных вдольтрассовых потребителей магистральных трубопроводов	14
1.2 Технические требования к автономным энергокомплексам на базе возобновляемых источников энергии для электроснабжения потребителей газовой отрасли	26
1.2 Вывод главы 1.....	30
2. Обзор методов оптимизации состава оборудования гибридных систем с ВИЭ	31
Вывод главы 2.....	32
3. Технический расчет состава гибридной электростанции.....	33
3.1 Характеристика потребителей объекта электроснабжения	33
3.2 Оценка ветрового и солнечного потенциала	36
3.3 Обоснование выбора состава основного оборудования	42
3.4 Конфигурации гибридной электростанции	45
3.5 Вывод главы 3.....	54
4. Экономический анализ	55
4.1 Методика экономического сравнения	55
4.2 Экономические параметры.....	56
4.4 Экономическая модель	59
4.5 Анализ чувствительности.....	61
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	64
5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	69
6. Социальная ответственность.....	98
Приложение I.....	115
Приложение II.....	138

ВВЕДЕНИЕ

Схемные решения по электроснабжению вдольтрассовых потребителей магистрального газопровода базируются на питании от ЛЭП, что в свою очередь приводит к существенным потерям электроэнергии при передаче энергии и многократным преобразованием напряжения от уровня 6-10 кВ до требуемых напряжений 0,23-0,4 кВ.

Внедрение автономных источников питания на основе ВИЭ является одним из перспективных направлений развития систем электроснабжения линейной части магистрального газопровода. Их применение позволит снизить суммарные затраты на электроснабжение вдольтрассовых потребителей магистрального газопровода.

Актуальность темы магистерской работы обусловлена необходимостью улучшения экономической эффективности и показателей надежности систем электроснабжения вдольтрассовых потребителей магистрального газопровода.

При проектировании системы электроснабжения на основе ВИЭ одной из важнейших задач является оптимизация состава и определение параметров энергоисточников, от этого сильно зависит реализация энергетического потенциала возобновляемых энергоресурсов и надежность электроснабжения потребителей.

Параметры оборудования и состав такого энергетического комплекса будет зависеть от категорийности потребителей, требований к качеству электроснабжения и конкретных условий эксплуатации, поэтому при определении для заданного состава, мощности и режимов работы потребителей необходимо учитывать эти факторы.

Факторы, которые необходимо учитывать и сопоставлять при определении показателей экономической эффективности энергоустановок [1]:

- Рост стоимости традиционных энергоносителей и повышение тарифов на электроэнергию.
- процент замещения энергии традиционных источников за счет возобновляемых видов энергии;
- Ценообразование традиционного энергоносителя;
- Капиталовложения на строительство сооружений и линий электропередач
- Затраты на присоединение к электрическим сетям;
- Затраты на обеспечение требуемой категории надежности электроснабжения потребителей;

Объектом исследования в данной работе является оптимизация состава оборудования гибридной автономной системы электроснабжения на основе возобновляемых источников электроэнергии

Предмет исследования: Гибридные автономные системы электроснабжения на основе возобновляемых источников энергии с дублирующими дизельными электростанциями.

Цель работы состоит в проектировании гибридной системы электроснабжения собственных нужд магистральных газопроводов на основе ВИЭ

Для реализации поставленной цели необходимо решить **следующие задачи:**

1. Изучить особенности электроснабжения, технические требования и определить категорийность потребителей магистрального газопровода.
2. Изучить опыт и возможность применения гибридных систем на изолированных объектов нефтегазовой отрасли и объектов северных районов.
3. Рассмотреть способы оптимизации состава генерирующего оборудования электростанции
4. Анализ потребителя по исходным данным технического задания
5. Произвести технический расчет состава гибридного энергокомплекса
6. Провести оптимизацию состава оборудования

Методы исследований: В ходе работы использовались статистические методы анализа, методы математического моделирования и оптимизации, применение возможностей программного комплекса Microsoft Excel для расчетов.

Личный вклад автора: Основные положения, полученные результаты и их анализ выполнены автором совместно с научным руководителем.

1. Текущее состояние электроснабжения основных потребителей магистральных газопроводов и возможности использования возобновляемых источников энергии

1.1 Особенности электроснабжения основных вдольтрассовых потребителей магистральных трубопроводов

Россия имеет газотранспортную систему протяженностью около 180 тыс. км (рис.1). Это газотранспортная система имеет значительную удаленность от производителей ресурсов и большинство её участков находятся в основном в суровых климатических условиях, болотистых и горных местностях. Также имеет место неразвитая транспортная, энергетическая, социальная и рыночная инфраструктуры в отдаленных участках газопроводов.



Рисунок 1 – Основные планируемые и действующие нефтяные и газовые трубопроводы в России [2]

Известно, что надежное электроснабжение вдольтрассовых потребителей магистрального газопровода является одним из основных факторов, обеспечивающих стабильную и бесперебойную работу газотранспортных систем. [3,4]

Типичными потребителями магистрального газопровода являются: насосные станции (станции регулирования давления в магистрали), узлы запорной арматуры с автоматическим приводом, с функцией дистанционного управления на трубопроводах внешнего транспорта газа, станции электрохимической защиты от коррозии, системы обнаружения утечек, станции линейной телемеханики и связи и т.д. [1]

Номинальная мощность магистральных потребителей варьируется в диапазоне от нескольких десятков до десятков и сотен киловатт (газораспределительная станция высокой мощности). [2]

Анализ технических характеристик типичных потребителей магистрального газопровода показывает, что основная доля потребителей приходится на потребителей однофазного и

трехфазного переменного тока частотой 50 Гц с напряжением питания 380/220 В. Существуют также потребители с постоянным током. [2]

Электроснабжение потребителей вдоль магистрали осуществляется по одному из трех основных вариантов [1]:

- От высоковольтной линии электропередачи напряжением 10 (6) кВ одностороннего двустороннего электроснабжения с последующим преобразованием напряжения до 0,4 кВ с использованием мачтовых трансформаторных подстанций 10 (6) / 0,4 (0,23) кВ, установленных непосредственно у потребителей;
- От собственных автономных источников питания различных типов и их комбинациями: газотурбинными, газопоршневыми установками, преобразователями энергии типа ОРМАТ, ДГУ, электростанциями на основе возобновляемых источников энергии, термоэлектрическими генераторами и др.
- Комбинированный метод с питанием от внешних и автономных источников питания.

Эти варианты имеют свои преимущества и недостатки. Поэтому проведение оптимизационных расчетов, которые обосновывают решение по выбору одного из множества вариантов является непростой задачей, также необходимо учитывать местные условия.

Большинство из перечисленных выше вариантов схем электроснабжения находят свое применение на сегодня. При этом подавляющее большинство схем электропитания магистральных потребителей (более 70%) выполнено по централизованной схеме от высоковольтных ВЛ-10 (6) кВ, где наиболее предпочтительными являются цепи электропитания от внешних источников питания. Такой подход объясняется требованиями перехода к абсолютно автономным технологиям [1].

В то же время, помимо более высоких затрат, недостатками схемы энергоснабжения от региональных электростанций являются: преобразование электроэнергии для каждого участка газопровода, которому необходимо электроснабжение, транспортировка электроэнергии по длинным линиям электропередачи на большие расстояния. Все это приводит к значительным потерям электроэнергии. Следует также отметить необходимость координации с точками подключения к электростанциям и зонами действия защит. Кроме того, локальные региональные сети довольно часто характеризуются низкой надежностью и испытывают проблемы с обеспечением требуемой категории надежности электроснабжения магистральных потребителей [5].

Как показывает статистика, более 50% отключений приходится на систему электроснабжения, около 30-35% - на механические повреждения линий электропередачи, около 15% отключений - на плановый ремонт и 2% - на отключение устройствами релейной защиты. [1]

Следует иметь в виду, что значительная протяженность магистрального газопровода и рассредоточение потребителей по его маршруту, сложные геологические и климатические условия его прохождения приводят к значительным тратам на реализацию систем электроснабжения. Главными статьями затрат при классических методах электроснабжения считаются расходы на постройку линий электропередачи, в особенности в труднодоступных и непроходимых участках, в том числе расходы на покупку земли, постройку трансформаторных подстанций, подключение к местным электрическим сетям и плату за потребление электроэнергии. В среднем траты на реализацию воздушных линий напряжением 10 (6) кВ больше, чем 3,5 млн руб/км, кабельных линий - больше 10,5 млн руб/км. [1]

Эти проблемы обуславливают потребность в модернизации и реконструкции систем энергоснабжения магистральных потребителей, а также потребность в разработке автономной генерации, базирующейся на маломощных источниках.

Для электроснабжения в труднодоступных районах при отсутствии внешних источников питания, когда невозможно обеспечить требуемую категорию надежности электроснабжения и показатели качества электроэнергии, актуально использование автономных источников питания.

Для локальных автономных электростанций, расположенных в непосредственной близости от потребителей, необходимо решить следующие технические проблемы:

- Обеспечение собственных нужд;
- Выбор оптимального режима работы источников;
- Выбор схемы электроснабжения с учетом категории надежности потребителей;
- Выбор источников генерации и их количество;
- Выбор системы автоматизации и управления;
- Обеспечение эксплуатации и сервисных услуг;

При питании потребителей от автономных источников питания следует учитывать, что:

- Необходим постоянный контроль за состоянием оборудования;
- Срок службы какого-либо автономного источника питания приблизительно в 2-3 раза меньше срока службы ВЛ-10 (6) кВ [1]
- Существует зависимость от энергоресурса, его наличия в необходимом количестве;

Выбор варианта схемы электроснабжения осуществляется на этапе проектирования по результатам сравнения инвестиционных затрат с учетом остальных влияющих факторов.

Основными проблемами при выборе варианта питания магистрального потребителя от автономного источника питания, особенно на основе возобновляемых источников энергии, могут быть повышенные требования потребителей к показателям качества и надежности электроснабжения, соблюдение которых потребует дополнительных мер и приведет к увеличению

капитальных вложений. Для определения рациональных границ использования автономных энергетических установок на основе возобновляемых источников энергии для энергоснабжения потребителей по сети необходимо провести анализ требований потребителей к качеству напряжения питания и надежности энергоснабжения.

Среди магистральных потребителей согласно СТО [5] выделяются потребители четырех категорий по надежности электроснабжения. В этот же состав входят электроприемники ОГ-1.

Приемники электроэнергии, согласно ПУЭ, делятся на следующие категории [7]:

ЭП 1 категории – ЭП, перерыв ЭС которых может повлечь за собой опасность для жизни людей, угрозу для безопасности государства, значительный материальный ущерб (неисправность оборудования, массовый брак продукции), расстройство сложного технологического процесса, нарушение функционирования особо важных элементов коммунального хозяйства, объектов связи и телевидения.

ЭП 1 категории в нормальных режимах должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых взаимно резервирующих ИП, и перерыв их электроснабжения при нарушении ЭС от одного из ИП может быть допущен только на время автоматического включения резервного питания.

Особая группа ЭП, выделяемая из 1 категории, бесперебойная работа которых необходима для безаварийного производства с целью предотвращения угрозы жизни людей, взрывов, пожаров. В нее входят: электродвигатели задвижек запорной арматуры, приводов вентиляторов, компрессоров, подъемных машин на подземных рудниках, насосов, аварийное освещение на некоторых производствах.

Для электроснабжения особой группы ЭП 1 категории должно предусматриваться дополнительное питание от третьего независимого источника питания (блоки аккумуляторных батарей, дизельные станции, газотурбинные станции и т.д.)

Независимым источником питания электроприемника или группы электроприемников является источник питания, на котором сохраняется напряжение в пределах, регламентированных для послеаварийного режима, при исчезновении его на других ИП этих ЭП.

К числу независимых ИП можно отнести энергосистему и собственную ТЭЦ, генераторы электростанции, работающие на разные секции или системы шин и имеющие независимые первичные двигатели (турбины); линии, секции, трансформаторы разных ТП энергосистемы и т.д.

ЭП 2 категории – ЭП, перерыв ЭС которых приводит к массовому недоотпуску продукции, к массовому простою рабочих, механизмов и промышленного транспорта, нарушению нормальной деятельности значительного числа городских и сельских жителей. Она наиболее многочисленна. ЭП 2 категории должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых взаимно резервирующих источников питания. Перерыв электроснабжения допустим на время, необходимое для включения резервного питания дежурным персоналом или выездной оперативной бригадой.

ЭП 3 категории – все остальные ЭП, не подпадающие под определение 1 и 2 категории. К ним можно отнести ЭП во вспомогательных цехах, на неответственных складах, в цехах несерийного производства и т.п. Для ЭС электроприемников 3 категории достаточно одного ИП при условии, что перерывы ЭС, необходимые для ремонта или замены поврежденного элемента, не превышают 1 суток.

Значения допустимых отклонений частоты напряжения питания изменяются от номинальных в пределах: 0,2 Гц, 04 Гц, 1 Гц 5 Гц, согласно госту [6]. Эти значения зависят от типа потребителя.

Типы потребителей влияют на допустимые отклонения напряжения питания от номинального напряжения. Допустимые отклонения напряжения находятся в пределах, согласно ГОСТ (5-10 %) [6]. У отдельных потребителей допустимые значения отклонения напряжения питания могут находиться в диапазоне 15%. Также есть потребители с низкой чувствительностью к отклонениям, для них отклонения находятся в диапазоне до 20 % от номинальных значений.

Большинство магистральных потребителей всегда находятся в работе. Им нельзя допускать изменения режимов работы (изменения величины потребления в течении времени, снижение потребления). В основном, режим работы потребителей длительный, и в определенных случаях повторно-кратковременный (электроприводы узлов запорной арматуры).

Из-за разнообразия типов магистральных потребителей, различных требований к надежности электроснабжения и к показателям качества, необходимо классифицировать магистральные потребители по этим параметрам

Анализ требований к качеству напряжения питания и категориям надежности электроснабжения позволяет разделить магистральные потребители на 4 группы,. Эти 4 группы также содержат в себе ещё 5 подгрупп. При этом группы соответствуют категориям надежности электроснабжения, а подгруппы соответствуют требованиям по допустимым отклонениям частоты и напряжения электроснабжения от номинальных значений. Предлагаемая классификация приведена в таблице 1 [8].

Таблица 1 - Классификация магистральных потребителей по требованиям надежности электроснабжения и к качеству питающего напряжения [8]

Группа потребителей	Подгруппа потребителей	Категория по надежности электроснабжения	Род тока электропитания	Допустимые отклонения частоты напряжения электропитания, Гц, не более		Допустимые отклонения напряжения электропитания, В, не более
				В течение 159,6 ч	В течение 168 ч	
А	A11	ОГ-1	Переменный ток	$\pm 0,2$	$\pm 0,4$	$\pm 0,1U_{ном}$
	A12		Переменный ток	$\pm 0,2$	$\pm 0,4$	Более $\pm 0,1U_{ном}$
	A21		Переменный ток	± 1	± 5	$\pm 0,1U_{ном}$
	A22		Переменный ток	± 1	± 5	Более $\pm 0,1U_{ном}$
	A3		Постоянный ток	-	-	-
Б	B11	1	Переменный ток	$\pm 0,2$	$\pm 0,4$	$\pm 0,1U_{ном}$
	B12		Переменный ток	$\pm 0,2$	$\pm 0,4$	Более $\pm 0,1U_{ном}$
	B21		Переменный ток	± 1	± 5	$\pm 0,1U_{ном}$
	B22		Переменный ток	± 1	± 5	Более $\pm 0,1U_{ном}$
	B3		Постоянный ток	-	-	-
В	V11	2	Переменный ток	$\pm 0,2$	$\pm 0,4$	$\pm 0,1U_{ном}$
	V12		Переменный ток	$\pm 0,2$	$\pm 0,4$	Более $\pm 0,1U_{ном}$
	V21		Переменный ток	± 1	± 5	$\pm 0,1U_{ном}$
	V22		Переменный ток	± 1	± 5	Более $\pm 0,1U_{ном}$
	V3		Постоянный ток	-	-	-
Г	Г11	3	Переменный ток	$\pm 0,2$	$\pm 0,4$	$\pm 0,1U_{ном}$
	Г12		Переменный ток	$\pm 0,2$	$\pm 0,4$	Более $\pm 0,1U_{ном}$
	Г21		Переменный ток	± 1	± 5	$\pm 0,1U_{ном}$
	Г22		Переменный ток	± 1	± 5	Более $\pm 0,1U_{ном}$
	Г3		Постоянный ток	-	-	-

На основе данной классификации в [8] произведена аналитика категорий надежности. Также там проанализированы допустимые отклонения значений напряжения и частоты электропитания от номинальных мощностей всех вдольтрассовых потребителей магистрального газопровода одного из газотранспортных предприятий.

Выводы по данному анализу:

1) Установленные мощности вдольтрассовых потребителей газопроводов находятся в пределах: $P_{уст} = 0,01 \dots 320,0$ кВт; средняя мощность потребителей: $P_{ср} = 5,0$ кВт, это говорит об очень большом количестве потребителей небольших мощностей. Мощности разделяются по группам:

- Группы А: $P_{уст} = 5,3$ кВт, $P_{ср} = 5,3$ кВт;
- Группы Б: $P_{уст} = 0,01 \dots 50,0$ кВт, $P_{ср} = 1,9$ кВт;
- Группы В: $P_{уст} = 25,0 \dots 320,0$ кВт, $P_{ср} = 57,3$ кВт;
- Группы Г: $P_{уст} = 0,3 \dots 58,4$ кВт, $P_{ср} = 5,6$ кВт;»

2) 97,1 % рассмотренных вдольтрассовых потребителей являются потребителями переменного тока промышленной частоты 50 Гц;»

3) У вдольтрассовых потребителей магистральных газопроводов широкий спектр требований к показателям уровня качества электроэнергии. В эти показатели входят допустимые отклонения частоты и отклонения напряжения питания от номинального значения.

4) В множестве вдольтрассовых потребителей встречаются потребители всех категорий по надежности электроснабжения, также особая первая группа потребителей. Основная часть потребителей является потребителями третьей (55,3 %) и первой (42,5 %) категории. Потребители постоянного тока, примерно 3 % от общего числа, встречаются среди потребителей первой категории надежности электроснабжения. Малое количество вдольтрассовых потребителей (2 %) относится к второй категории по надежности электроснабжения, но тут стоит учитывать тот факт, что установленные мощности таких потребителей часто превышают мощности потребителей остальных категорий.

5) К 99,2 % вдольтрассовых потребителей магистрального газопровода можно применить автономные источники питания как основные и резервные источники питания, но автономные источники питания как основной и единственный – допускаются у 55 % потребителей. В случаях отсутствия внешнего электроснабжения или их плохого качества, в роли основных независимых или резервирующих источников питания потребителей магистральных газопроводов могут использоваться автономные источники питания, которые могут быть построены и на основе возобновляемых источников энергии, об этом говорится в СТО п 7.7 [5].

6) При использовании автономных источников питания на основе возобновляемых источников энергии, встает вопрос о поддержании частоты напряжения.

Такая классификация вдольтрассовых потребителей предоставляет возможность охарактеризовать часть электроприемников по каждой категории надежности электроснабжения, для которых допустимое отклонение частоты лежит в диапазоне, соответствующем требованиям ГОСТ [6] о автономных системах электроснабжения:

- потребители группы А: отсутствуют;
- потребители группы Б: 28 % от всех ВПМГ с $P_{уст} = 0,1 \dots 50,0$ кВт и $P_{ср} = 1,7$ кВт;
- потребители группы В: 1,4 % от общего количества ВПМГ с $P_{уст} = 25,0 \dots 320,0$ кВт и $P_{ср} = 66,0$ кВт;
- потребители группы Г: 16,9 % от общего количества ВПМГ с $P_{уст} = 0,3 \dots 58,4$ кВт и $P_{ср} = 5,6$ кВт.

7) Для половины рассмотренных вдольтрассовых потребителей (49,1 %) с $P_{уст} = 0,01 \dots 320,0$ кВт и $P_{ср} = 4,8$ кВт возможно использование автономных источников питания, как основных, так и резервных. При условии соблюдения требований по отклонению частоты, описанных в ГОСТ [6] о изолированных системах электроснабжения с автономными генераторными установками. 50 % электроприемников с $P_{уст} = 0,1 \dots 40,0$ кВт и $P_{ср} = 5,3$ кВт, для которых так же возможно использование автономных источников питания как основных или резервных, к ним также предъявляются требования по допустимым отклонениям частоты, которые описаны в ГОСТ [6] о синхронизированных системах электроснабжения, учитывая эти факты, будут необходимы дополнительные меры для поддержания частоты в системе электроснабжения электроприемников, если в качестве автономных будут использоваться источники на базе возобновляемых.

8) Примерно 12 % потребителей с $P_{уст} = 0,3 \dots 58,4$ кВт, $P_{ср} = 5,1$ кВт (группы Г22) требуют самые низкие требования к показателям качества электроэнергии. Их питания можно обеспечивать автономными источниками питания на базе ВИЭ в качестве единственных основных источников питания.

В итоге, рассмотренная классификация всего широкого спектра потребителей магистральных газопроводов позволяет выделить:

- Группу электроприемников, с требованиями по отклонению частоты, которые советуют требованиям к изолированным системам электроснабжения с автономными генераторными установками в соответствие с ГОСТ [6], для которых возможно использование автономных источников питания на базе ВИЭ в качестве основных или резервных;
- Группу электроприемников, предъявляющих низкие требования к качеству электроснабжения, для них использование автономных источников питания на базе ВИЭ в качестве единственного источника питания будет целесообразным;
- Группу электроприемников, предъявляющих очень высокие требования к показателям качества, надежности электроснабжения, для которых соблюдение заданных показателей качества вырабатываемой автономными источниками питания на базе ВИЭ электроэнергии требует дополнительных мер.

Необходимо выделить, что использование энергокомплексов, содержащих в своем составе энергоустановки на базе возобновляемых источников энергии, традиционных энергоносителей, а также аккумуляторных батарей, дает возможность повысить и, если необходимо, обеспечить уровень надежности и соответствие показателей качества электроэнергии предъявляемым требованиям, что очень важно для изолированных от централизованного электроснабжения потребителей.

Энергоисточники с наибольшим экономическим потенциалом считаются источники малой гидроэнергетики и источники, работающие на биомассе отходов. Но к электроснабжению магистральных потребителей их не всегда возможно применить в силу географических ограничений.

Обычно маршруты магистральных газопроводов достаточно далеки от малых рек, и поэтому передача энергии гидроэлектростанциями малых мощностей на большие дистанции является ограничением для широкого применения гидроэнергетики для энергоснабжения основных потребителей, несмотря на многочисленные преимущества малой гидроэнергетики по сравнению с другими видами возобновляемой энергии. Использование биомассы для производства электроэнергии целесообразно в районах развитого сельского хозяйства, в агропромышленных комплексах, где имеются большие запасы отходов животноводства, в деревообрабатывающих комплексах, использующих древесные отходы. В противном случае необходима транспортировка отходов к местам их переработки. Этот фактор также является сдерживающим при использовании источников электроэнергии, основанных на преобразовании отходов биомассы для энергоснабжения газопроводов.

Имеет смысл принимать во внимание варианты использования ветровой и солнечной энергии. Такие решения позволяют обеспечить потребителей электроэнергией в течение всего календарного года при любых погодных условиях:

- В пасмурную погоду или ночью, когда нет солнца, но есть ветер, основным источником электроэнергии являются ветрогенераторные установки.
- В солнечную погоду, когда ветер стихает, увеличивается доля выработки электроэнергии фотоэлектрическими панелями.
- В случае отсутствия благоприятных условий (например, пасмурная безветренная погода, ночное время суток без ветра) питание потребителей осуществляется от аккумуляторных батарей, входящих в состав электростанции. При достаточной ветро-солнечной активности, когда энергия потребителям поступает от ветрогенераторов и солнечных панелей, избыток вырабатываемой в это время электроэнергии запасается в аккумуляторных батареях и может расходоваться для покрытия дефицита мощности при неблагоприятных погодных условиях.

Ветро-солнечные электростанции имеют хорошую перспективу использования преимущественно в тех районах, где солнечные и ветровые потенциалы достаточно высоки для выработки электроэнергии. В большинстве регионов России среднегодовая скорость ветра не превышает 5 м/с. Ветровые зоны с наибольшим энергетическим потенциалом расположены в основном на побережье и островах Северного Ледовитого океана от Кольского п-ова до Камчатки. Около 30 % экономического потенциала ветроэнергетики сосредоточено на Дальнем Востоке, 14 % – в Северном экономическом районе, около 16 % – в Западной и Восточной Сибири. [1]

Потенциал использования солнечной энергии на территории нашей страны также неоднороден. Уровень солнечной радиации значительно варьируется: от 810 кВт·ч/м² в год в отдаленных северных районах до 1400 кВт·ч/м² в год в южных районах. На уровень солнечной радиации оказывают влияние и большие сезонные колебания: на широте 55° солнечная радиация в январе составляет 1,69 кВт·ч/м², июле – 11,41 кВт·ч/м² в день. Условные зоны ветро-солнечной активности приведены на рисунке 2. [1]

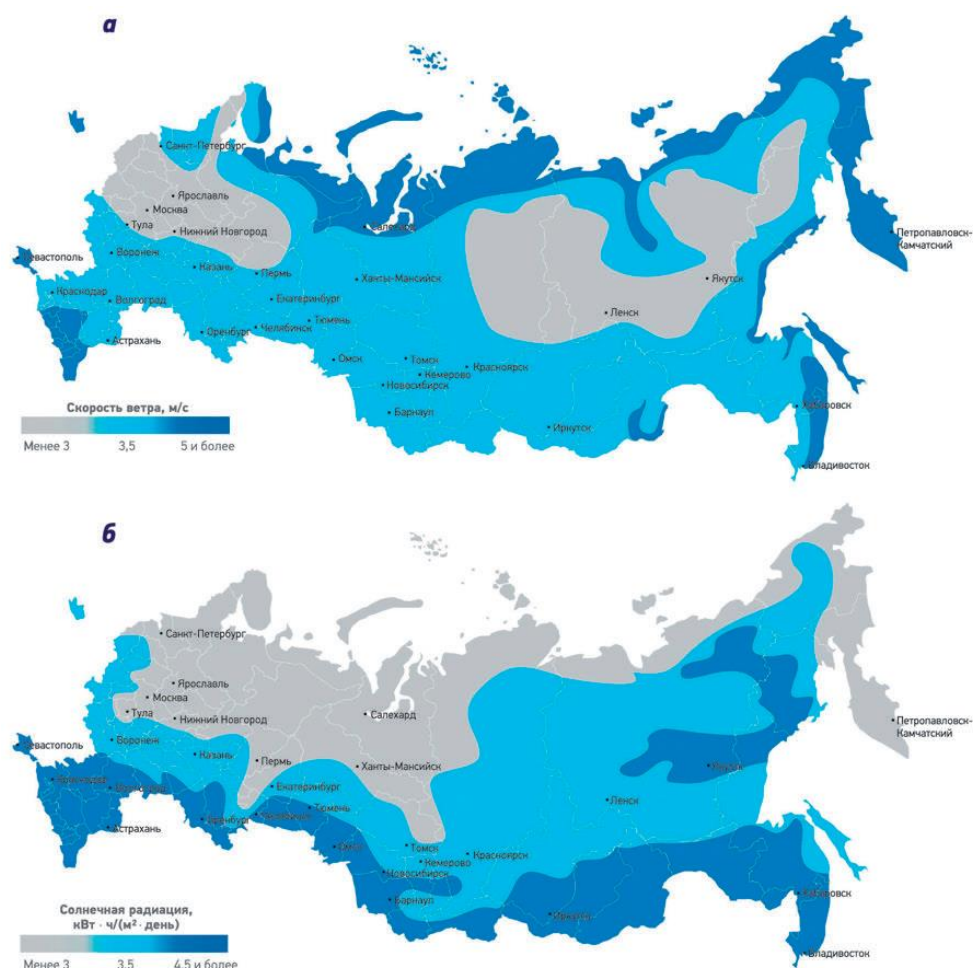


Рисунок 2 – Зоны распределения ветровых(а) и солнечных(б) потенциалов России

Сегодня для объектов газовой отрасли уже применяются источники питания на базе возобновляемых источников энергии, в том числе для электроснабжения вдольтрассовых потребителей газопроводов. В основном используют ветрогенераторы, солнечные панели и гибридные станции на их основе. Ниже приводится несколько примеров эксплуатации подобных систем [8]:

«Средняя выработка электроэнергии одной ВЭУ типа AIR-X (номинальная мощность 400 Вт при скорости ветра 12,5 м/с) и AIR Breeze (номинальная мощность 200 Вт при скорости ветра 12,5 м/с) за 2012 г. составила от 2965 до 4782 Вт·ч» [11];

«Средняя выработка электроэнергии одной ВЭУ типа Whisper 200 (номинальная мощность 1 кВт при скорости ветра 11,6 м/с) за 2012 г. составила 11616 Вт·ч.» [12];

Такая небольшая выработка возможно объясняется неверным выбором состава автономной электростанции.

Ветрогенератор «Сокол» мощностью 6 кВт в составе гибридной комплектной электростанции введен в работу в 2009 г. в качестве основного источника электроснабжения. Из-за низкой ветровой активности в регионе установки и малым количеством электроэнергии, вырабатываемой ветрогенератором, в настоящее время этот ветрогенератор работает как резервный источник питания, а в качестве основного источника используется ЛЭП, которая проходит вдоль магистральной трассы» [13].

Опыт реализации проекта ветро-дизельной станции установленной мощностью 1 МВт на Арктическом исполнении для электроснабжения жилого поселка Амдерма. Северные и дальневосточные территории России находятся в зоне высокого ветропотенциала со средними скоростями ветра более 5 м/с на высоте 10 м и удельной солнечной плотностью 400 Вт/м². Этот район является децентрализованным и имел проблемы с электроснабжением, электроснабжение обеспечивалось в основном за счет ДЭС. Решением проблемы было использование гибридной электростанции (ВЭУ+ДЭС). Потребляемая электрическая мощность 300-400 кВт (до 600 кВт пиковая мощность). Проект реализовывался в два этапа: 1) реконструкция ДЭС 2) Строительство и интеграция ВЭУ. Вводимые мощности: три ДГУ в сумме 600 кВт и 4х60 кВт ВЭУ. Расположение побережье Карского моря. Среднегодовая/ максимальная скорость ветра: 8/42 м/с. Минимальная температура -42 С, обледенения, интенсивная метель/ пурга. [14]

Суть использованного технического решения:

- Объединение источников по стороне переменного тока. Распределенная генерация на базе существующих сетей.
- Масштабируемость. Есть возможность увеличивать количество параллельно подключенных источников мощности
- Модульность
- Адаптированная технология для труднодоступных регионов. Снижение капитальных затрат
- Основной параметр системы- уровень замещения дизельного топлива

На рисунке 3 представлена схема данного проекта

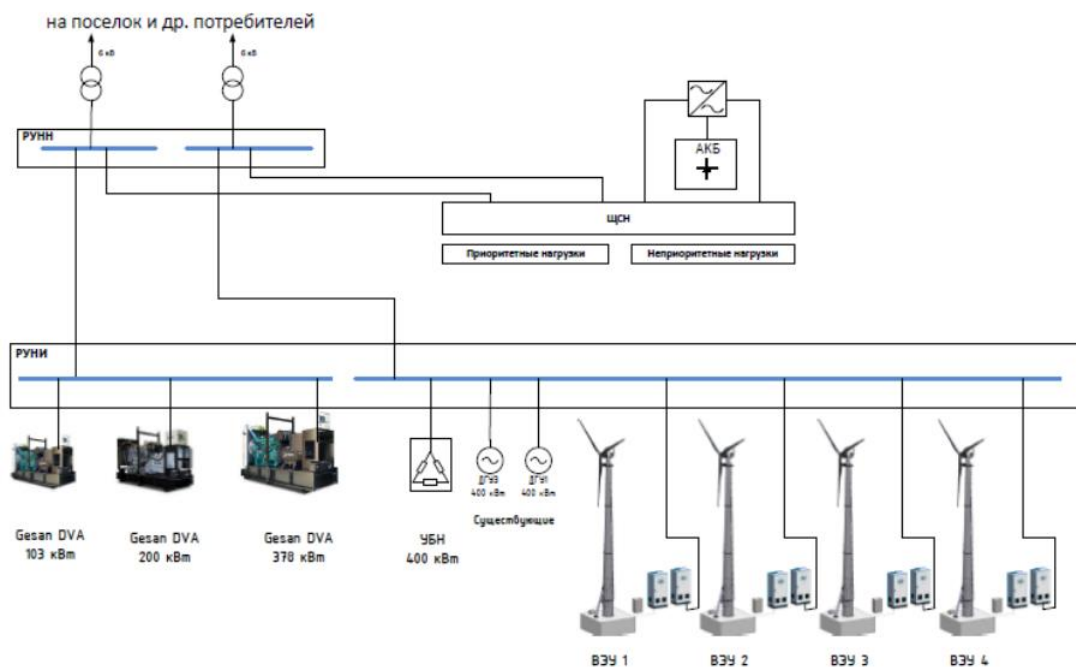


Рисунок 3- Схема проекта в поселке Амдерма [14]

Можно выделить некоторые ограничения с которыми столкнулись при реализации данного

проекта [14]:

1) Сложность интеграции ДГУ с АСУ ВДЭС:

- Разрабатывалась абсолютно новая САУ
- Нельзя использовать средства контроллера ДГУ для управления ДЭС, т.к. они не учитывают ВЭС- выбор состава ДГУ и другие управляющие решения не работают
- ДГУ управляются в режиме принудительного пуска/остановки. Предъявляются высокие требования по скорости смены состава ДГУ

2) Сложность параллельной работы ДГУ с ВЭС:

- Проблема с подачей мощности со стороны ВЭУ в сеть
- Проблема ухода фазы ДГУ при набросе мощности от ВЭУ. ВЭУ отключается и происходит ещё больший наброс мощности на ДГУ
- Регулирование реактивной составляющей тока ВЭУ для корректной работы ДГУ

Результаты ввода в эксплуатацию:

- При этом уже в первый год была обеспечена экономия топлива на уровне 36% и меньшее количество мото-часов суммарно по ДГУ (т.к. используется меньший состав ДЭС). На второй год уровень экономии увеличился за счет смены режима работы ВДЭС
- За счет внедрения новой системы аварийного бесперебойного питания – обеспечена возможность функционирования дополнительных установок в здании ДЭС во время полного останова всех машин (аварийный или сервисный режим ДЭС)
- ВЭС отработала ряд режимов с экстремальными показателями: штормовой ветер более 30 м/с при отрицательных температурах, работа в условиях обледенения
- Две ВЭУ уходил в неконтролируемый разгон по причине некоторых недоработок для условий крайнего Севера (даже учитывая, что ВЭУ были модернизированы для Арктических условий). Лопасти ВЭУ проработали длительно в условиях перегрузки и не разрушились.

Посредством результатов и анализа опыта использования возобновляемых источников энергии в системах электроснабжения промышленных потребителей газовой отрасли, включая потребителей газопроводов, были сделаны следующие выводы.

Экономическая эффективность и конкурентоспособность с альтернативными энергетическими технологиями определяют целесообразность и масштабы использования ВИЭ. При сравнении ВИЭ с энергоисточниками на органическом топливе можно выделить преимущества в виде наличия значительных ресурсов, их быстрое воспроизводство, большая степень экологичности в связи с отсутствием выбросов вредных веществ в окружающую среду и экономичности при отсутствии топливных затрат.

Существуют следующие ограничения, влияющие на масштабы внедрения ВИЭ:

- Условия поставки топлива
- Характеристика и наличие централизованных источников
- Номенклатура отечественного оборудования
- Плотность электрических нагрузок

- Затраты на энергоустановку

При выборе состава электростанции, в зависимости от потенциала возобновляемого источника энергии и специальных условий для его реализации, является необходимым определять оптимальное его сочетание и параметров оборудования систем энергоснабжения, которые, в максимальном режиме использования энергии ветрогенераторов, позволяют обеспечить минимум уровня удельных затрат на обеспечение электроэнергетических нужд.

Оптимизация состава и параметров оборудования энергокомплекса на основе ВИЭ будет производиться на основе конкретных условий эксплуатации, связанных с характеристиками потребителей электроэнергии и обеспеченностью поступления ресурсов ВИЭ.

1.2 Технические требования к автономным энергокомплексам на базе возобновляемых источников энергии для электроснабжения потребителей газовой отрасли

Учитывая требования государственных и отраслевых нормативных документов, существует необходимость формулирования общих технических требований к автономным электростанциям, основывающимся на возобновляемых источниках энергии, и основанных на них источников энергии для энергоснабжения магистральных потребителей, которые учитываются в дальнейшем при обосновании состава и параметров источников энергии с использованием известных на сегодняшний день алгоритмов и методов.

Возобновляемые источники энергии обычно представлены блочно-комплектного исполнения полной заводской готовности, которые должны включать в себя: источники питания, аппаратуру и оборудование для управления, учета и распределения электроэнергии. Кроме того, если мачтовые ветряные турбины, малые гидроэлектростанции, фотопанели с системой слежения за положением Солнца и другие установки, размещение которых в блочном контейнере технически затруднено, практически невозможно с точки зрения энергоэффективности.

Энергокомплекс на основе возобновляемых источников энергии должен обеспечивать потребителей электроэнергией в соответствии с качеством электроэнергии, требуемым ГОСТ [6].

Схематические решения, используемые в энергокомплексе на основе возобновляемой энергии, должны обеспечивать надежность энергоснабжения потребителей в соответствии с их категорией надежности, согласно СТО [5].

Номинальные напряжения электростанций и источников энергии на основе возобновляемых источников должны соответствовать напряжению питания потребителей и могут быть таковыми: 24, 48 В постоянного тока, 230 В однофазный переменный ток частоты 50 Гц, 230/400 В трехфазный переменный ток частоты 50 Гц.

Мощность приемников не должна превышать номинальную мощность источника питания.

Энергокомплекс на основе возобновляемой энергии должен допускать работу при низких нагрузках (до 10% от номинальной мощности).

Приемники питания должны быть подключены к секциям шины через автоматические выключатели. Автоматические выключатели должны быть оснащены расцепителями для защиты оборудования от токов короткого замыкания и перегрузок. Величина времени автоотключения

электроснабжения не должно быть больше значений в соответствии с Правилами [15].

Энергокомплекс на основе возобновляемой энергии должен выдерживать трехфазное (однофазное) короткое замыкание в течение всего срока защиты в любом режиме нагрузки (до 100%) без повреждения. После отключения короткого замыкания номинальное напряжение должно быть достигнуто с точностью до 1% в течение не более 7,5 с.

Электростанции, входящие в состав энергокомплекса на основе возобновляемых источников энергии, должны быть полностью автоматизированы, не требуя постоянного присутствия дежурного персонала.

Основные требования к управлению, контролю и защите системы электроснабжения, предъявляемые к АСУ ТП традиционных электростанций в соответствии с [16], должны соблюдаться при создании АСУ ТП ЭК с электростанциями на основе возобновляемых источников энергии.

В зависимости от типа используемых ВИЭ к автоматизированной системе управления технологическими процессами предъявляются дополнительные требования по управлению системой энергоснабжения. Объем автоматизации задается в зависимости от применяемой схемы электроснабжения и типов электростанций с учетом нормативной документации по этим типам электростанций (при наличии).

Для ветряных турбин объем обязательной автоматизации при работе в составе энергокомплекса должен соответствовать указанному в [16].

Автоматическая система управления электростанцией должна обеспечивать ее стабильную работу во всех необходимых режимах, параметрах управления, а также передавать данные и выходную информацию о ее состоянии в систему АСУ ТП ЭК.

В зависимости от типа электростанций на основе возобновляемых источников энергии, используемых в рамках энергокомплекса, система управления технологическими процессами должна включать систему сбора (мониторинга) информации о соответствующих параметрах возобновляемых источников энергии (скорость ветра, солнечная радиация и т.д.) существующие на данный момент, а также параметры генерируемой электроэнергии от ВИЭ электростанций и передают информацию в программно-технический комплекс для генерирования управляющих воздействий на другие системы (защита, контроль зарядки/разрядки накопителей энергии, автоматическое включение резервных электростанций и т.д.), направленных на поддержание баланса производства и потребления электроэнергии, параметров качества электроэнергии, надежности и стабильности системы электроснабжения в целом. Система сбора (мониторинга) информации о параметрах возобновляемых источников энергии также должна быть связана с системой прогнозирования производства электроэнергии электростанциями на базе возобновляемых источников энергии на краткосрочную и среднесрочную перспективу (один час, один день вперед), прогнозные расчеты которой строятся на основе существующих математических моделей и методов прогнозирования с высокой степенью вероятности (до 95-98%). Информация от обеих систем (мониторинг и прогнозирование) должна поступать в диспетчерский пункт.

АСУ ТП энергокомплекса на основе возобновляемых источников энергии должна обеспечивать долгосрочную параллельную работу электростанций между собой и с внешней сетью (при наличии

ввода от внешней сети), распределение электроэнергии между электростанциями и управление общими системами электростанций.

АСУ ТП энергокомплекса на основе возобновляемых источников энергии должен обеспечивать необходимый уровень надежности и устойчивости системы энергоснабжения при различных возмущениях, с учетом требований по надежности и бесперебойности электроснабжения потребителей, в зависимости от их категоризации в соответствии с СТО [5].

Автоматизированная система управления технологическими процессами на основе возобновляемых источников энергии должна управлять режимами работы электростанций, которые входят в состав энергокомплекса:

- контроль за зарядом/разрядом аккумуляторов энергии с учетом требований технологического процесса и специфики эксплуатации электростанций на основе возобновляемых источников энергии для обеспечения бесперебойного энергоснабжения, особенно ответственных потребителей;

- автоматический запуск резервной электростанции на традиционном энергоносителе и автоматическое подключение нагрузки к ее генератору через АВР в периоды недостаточной выработки электроэнергии от электростанций на основе возобновляемых источников энергии и при снижении напряжения в аккумуляторах ниже установленных пределов;

- автоматический возврат к питанию нагрузки с электростанций, работающих на возобновляемых источниках энергии (или с накопителей энергии в зависимости от действующей схемы энергоснабжения), при восстановлении ее параметров и при отключении резервной электростанции.

Аппаратное и программное обеспечение АСУ ТП энергокомплекса на основе возобновляемых источников энергии должно удовлетворять требованиям по обеспечению безопасности управления в соответствии с [16].

АСУ ТП энергокомплекса на основе возобновляемых источников энергии должен обеспечивать поддержание параметров электроэнергии в нормированных и допустимых пределах для обеспечения заданного качества электроэнергии в соответствии с [6, 16, 17, 18].

Если невозможно обеспечить заданные параметры качества электроэнергии электростанций, работающих на возобновляемых источниках энергии, необходимы дополнительные меры по доведению показателей качества до требуемых значений (включение преобразователей, фильтров, устройств контроля и регулирования реактивной мощности и т.д.) в схему с соответствующими изменениями функций АСУ в зависимости от принимаемых мер.

В соответствии с требованиями [16] автоматические системы управления технологическими процессами должны создаваться с использованием систем SCADA, предназначенных для управления технологическими процессами в электроэнергетике.

Для реализации функций релейной защиты и локального аварийного управления необходимо использовать многофункциональные цифровые устройства релейной защиты и автоматики серийного производства, которые являются одновременно устройствами уровня АСУ ТП объекта управления (терминалов) системы автоматического управления и обеспечивают сбор и передачу всей необходимой соединительной информации, используемой для формирования имитационных схем

объектов, аварийной и аварийной сигнализации, базы данных и архива. Устройства цифровой релейной защиты и автоматики должны соответствовать требованиям [19].

В дополнение к общим требованиям к АСУ ТП ЭК, в зависимости от используемых в комплексе электростанций на базе различных видов возобновляемых источников энергии, могут быть введены дополнительные требования к АСУ ТП, а также дополнительное оборудование, требующее соответствующего автоматизированного управления.

В частности, такие требования могут предъявляться к ветряным турбинам:

- перевод ветряной турбины в защищенный режим при штормовых ветрах, превышающей максимальную рабочую скорость ветра;

- поддержание скорости и мощности ветряной турбины на заданном уровне при сильных ветрах;

- управление выходным напряжением и т.д.

Дополнительное оборудование, требующее автоматизированного управления, может включать в себя:

- балластные сопротивления для ветряных турбин;

- системы слежения за солнцем для фотоэлементов;

- системы отбора максимальной мощности для фотоэлементов и т.д.;

Энергокомплекс на основе возобновляемой энергии должен быть устойчив к электромагнитным воздействиям, вызываемым молниями, электростатическими разрядами и другими воздействиями электромагнитного характера, а также к аварийным и коммутационным переходным процессам в электрических цепях.

В Энергокомплексе на основе возобновляемых источников энергии должны применяться технические средства (например, при установке вблизи источника импульсного магнитного поля), обеспечивающие устойчивость электрооборудования к импульсным магнитным полям, что соответствует требованиям [20].

В Энергокомплексе на основе возобновляемых источников энергии должны применяться технические средства (например, при установке вблизи источника магнитного поля промышленной частоты), обеспечивающие устойчивость электрооборудования к магнитным полям промышленной частоты, отвечающим требованиям [21].

Общее освещение оборудования, размещенного в блоках, локальное освещение органов и щитов управления должно соответствовать требованиям [22].

Конструкция энергокомплекса на основе возобновляемых источников должно обеспечивать возможность местного контроля над энергокомплексом и электростанциями.

Конструкция энергокомплекса на основе возобновляемых источников должно обеспечивать пожаробезопасность и взрывобезопасность. Общие требования по взрывоопасности, взрывозащите и взрывозащите должны соответствовать требованиям [23].

Оборудование и материалы, имеющие сертификаты пожарной безопасности в соответствии с [29], должны использоваться при проектировании возобновляемых источников энергии на основе возобновляемых источников.

Устройства блочно-комплектного исполнения энергокомплекса на основе возобновляемых

источников энергии с учетом воздействия климатических факторов окружающей среды должны соответствовать требованиям [30].

Устройства блочно-комплектной конструкции ЕС на основе ВИЭ с точки зрения устойчивости к внешним механическим факторам должны соответствовать требованиям [24].

Электротехнические изделия на основе возобновляемых источников энергии с точки зрения устойчивости к внешним климатическим факторам, с указанием требований [30], должна соответствовать [25].

Степень защиты корпусов оборудования от доступа к опасным частям, проникновения внешних твердых предметов и (или) воды должна соответствовать [26].

Минимальный перечень сигналов от автоматической установки пожарной сигнализации и пожаротушения, передаваемых в АСУ ТП, должен соответствовать [27, 28].

1.2 Вывод главы 1

После анализа особенностей электроснабжения вдольтрассовых потребителей магистральных газопроводов, опыта применения, нормативных документов, можно сделать следующие выводы:

- 1) Применение ВИЭ для электроснабжения вдольтрассовых потребителей магистрального газопровода является целесообразным.
- 2) При проектировании гибридной электростанции необходимо классифицировать потребитель по требованиям качеству питающего напряжения и надежности электроснабжения. Данная классификация позволяет определить типы потребителей, для которых применение ВИЭ наиболее целесообразно, а также дополнительные мероприятия для повышения показателей качества электроснабжения.
- 3) Большинство потребителей магистральных газопроводов находятся в труднодоступных, удаленных от централизованных источников электроснабжения районов.
- 4) Необходимо установка дополнительного оборудования, систем управления для обеспечения устойчивой работы автономной гибридной электростанции.
- 5) Для эффективной работы необходимо оптимизировать состав оборудования гибридной электростанции.

2. Обзор методов оптимизации состава оборудования гибридных систем с ВИЭ

На сегодняшний день, для решения оптимизационных задач применяют следующие математические методы [8]:

- методы исследования функций классического анализа;
- методы, основанные на использовании неопределенных множителей Лагранжа;
- вариационное исчисление;
- динамическое программирование;
- принцип максимума;
- линейное программирование;
- нелинейное программирование;

В большинстве задач применяются методы математического программирования. Категории исходных данных, характер искомых переменных, количество критериев оптимизации влияют на выбор метода математического программирования. В рамках обоснования оптимального состава и параметров оборудования энергокомплекса на основе ВИЭ в математической модели будут наблюдаться нелинейные зависимости, случайные величины исходных данных (скорость ветра, солнечная активность во времени и т.д.). Такая задача будет считаться многокритериальной, т.к. для оценки эффективности работы подобного комплекса, необходимо вводить несколько критериев (замещение традиционного ресурса, надежность электроснабжения, минимальные затраты на выработку электроэнергии, воздействие на окружающую среду и т.д.). Основной проблемой в решении данной задачи является противоречивость критериев оптимизации, критерии не взаимозаменяемы. Электроэнергетическая система одновременно должна быть экономичной и надежной. Обычно, увеличения показателей надежности ведет к ухудшению экономических показателей. Таким образом, основной задачей будет являться поиск компромиссных решений. Методы решения задач многокритериальной оптимизации подробно рассмотрены в [54].

Решения подобных задач и применение вышеописанных методов реализуют следующие программные комплексы:

- 1) Homer Energy Pro
- 2) RETScreen
- 3) Hybrid 2
- 4) iHoga

Существует множество методов оптимизации состав, для поиска подходящего для данной конкретно задачи необходимо понять, как подобные проблемы решают другие исследователи. Например, в [55] авторами выполнено моделирование технико-экономических параметров работы проектируемого гибридного комплекса в составе комбинированной ветро-солнечной и резервной дизельной электростанции, осуществляющего автономное электроснабжение небольшого населённого пункта. В качестве критерия оптимизации выбрана себестоимость генерируемой комплексом электроэнергии. Методология поиска рационального состава электростанции базируется на переборе различных комбинаций её компонентов. В качестве исходных данных взяты суточные графики

мощности п. Нижнеянк Республики Саха (Якутия) для каждого месяца года, а также почасовые значения солнечной радиации и скорости ветра. Проанализированы результаты оптимизации состава комплекса. В [56] приведены результаты одноцелевой оптимизации состава гибридного комплекса, включающего ветро-солнечную и дизельную электростанцию, по критерию минимальной себестоимости выработанной электроэнергии для небольшого населённого пункта в заданных географических условиях. Дана оценка влиянию учёта дополнительного критерия ограничения капитальных затрат на результат решения задачи оптимизации. Показано, что соотношение долей солнечной и ветровой электростанции непостоянно при изменении располагаемых капитальных затрат и меняется вплоть до исключения одного из возобновляемых источников энергии из состава комплекса. В работе [57] рассмотрена интеграция возобновляемых источников энергии в комбинированные системы охлаждения, обогрева и электроэнергии (RES-CCHP). В данной статье разрабатывается методика двустороннего взаимовлияния мощности системы и характером эксплуатации, а также предлагается двухэтапный метод оптимизации для проекта RES-CCHP. На первом этапе определяется мощность каждого компонента системы и затем используется в качестве ограничения для оптимизации работы. На втором этапе алгоритм нелинейного программирования используется для оптимизации эксплуатационного потребления энергии, затрат и выбросов CO₂ с учетом нерасчетных характеристик основных потребителей. Для проверки возможности двухэтапного метода оптимизации проводится несколько тематических исследований. Было обнаружено, что двухступенчатая оптимизация увеличивает коэффициент экономии первичной энергии, коэффициент экономии затрат и коэффициент сокращения выбросов диоксида углерода на 4,5%, 4,32% и 3,27% по сравнению с традиционным методом проектирования, соответственно.

Вывод главы 2

Подводя итоги, оптимизация состава гибридной электростанции с учетом использования ВИЭ реализуется по двум направлениям. В первом задаются допустимые затраты энергетических, финансовых, временных и других ресурсов для обеспечения нормальной работы рассматриваемого потребителя, которые необходимо использовать максимально эффективно. Основным смыслом этого направления описывается как задача по определению максимального значения показателей эффективности при заданных ограничениях в виде потенциала ВИЭ в рассматриваемом районе, ограничения затрат. Во втором задаются требуемые количественные или качественные показатели функционирования, которые должны быть получены с наименьшими затратами энергетических, финансовых, временных и др. ресурсов. В этом случае основная цель этого направления формулируется как задача по определению минимума затрат при заданных значениях показателей функционирования. Решение этих задач на уровне изолированной системы энергоснабжения с учетом использования ВИЭ должно взаимно согласовываться, так как использование располагаемых ресурсов потенциально обеспечивает получение максимально возможного эффекта, а заданный эффект возможно получить только при наличии минимально необходимого (для достижения этого эффекта) количества энергетических, финансовых, временных и других ресурсов.

Практика показывает, что выбор вариантов построений систем электроснабжения реализуется по второму направлению, обычно, выполняется при проектировании новых или модернизации текущих систем электроснабжения без учета возобновляемого источника электроэнергии. Решение задачи оптимизации состава реализуется методом сравнительного анализа вариантов на основе заданных нормированных параметров функционирования системы. При использовании этого метода в границах каждого типового варианта по рассматриваемому критерию анализируются параметры элементов системы энергоснабжения, а затем выбирается лучший из рассмотренных вариантов по критерию минимальной стоимости электроэнергии.

В данной работе оптимизация состава будет производиться в несколько этапов для уменьшения количества критериев, которые необходимо учитывать, в конечном итоге, сводя все к строго формализованному исходным данным. Использование программных комплексов исключается, по причине ограниченности информации детализированной реализации процесса и приоритетности критериев оптимизации.

3. Технический расчет состава гибридной электростанции

ПАО НК Роснефть определён ряд потенциальных для электроснабжения на основе ВИЭ с характерными нагрузками энергопотребителей. Определены объекты АО «НижевартовскНипиНефть» и ряда добывающих обществ, расположенных на территории Ямало-Ненецкого автономного округа. В настоящее время компания рассматривает решения практического применения установок ВИЭ на указанных объектах. [Приложения А, Рисунок А1]

В этой главе будет произведен анализ потребления, оценка ветрового и солнечного потенциала, выбор состава оборудования и конфигурации.

3.1 Характеристика потребителей объекта электроснабжения

Расчет будет выполняться для объекта расположенного в реальном месте размещения строящегося газопровода в Ханты-Мансийском автономном округе, Нефтеюганский район. Рассматриваемыми объектами являются крановые узлы и сопутствующее оборудование на местах строительства. Из исходных данных компания предоставляет максимальное потребление в сутки и максимальное потребление электроэнергии в месяц (зимний период), исходные данные представлены в таблице 3, потребление электроэнергии и уровни электрических нагрузок потребителей рассматриваемого объекта (таблица 4) [Приложение А, Рисунок А1].

Крановый узел газопровода используют при прокладке любого трубопровода, предназначенного для передачи сжиженных или газообразных веществ (рисунок 4). Он необходим для управления потоками. Устройство может монтироваться на линейном отрезке, обслуживать компрессорные, перекачивающие, распределительные и насосные станции. Крановые узлы в системе необходимы для отключения конкретных участков трассы. Их устанавливают через каждые 20 км. Также запорные механизмы на отводах, перед различными преградами, на подходах к станциям. Краны могут иметь пневмогидравлический, пневматический или ручной привод. Рядом с ними монтируются продувочные свечи. Они необходимы для опустошения отключённого участка во время

проведения ремонтных работ [34]. В данной работе рассматриваются пневмогидравлические крановые узлы с дистанционным управлением.



Рисунок 4 - Крановый узел [35]

Расчетная мощность потребителей рассматриваемого объекта составляет 10,433 кВт. Мощности, входящих в него потребителей приведены в таблице 2.

Таблица 2- Мощности потребителей рассматриваемого объекта [Приложение А, Рисунок А2]

Оборудование	Потребляемая мощность, кВт	Напряжение, В
Привод задвижки	5	220
Контрольно-измерительные приборы и автоматика	0,08	220
Связь	1,4	220
Пожарная сигнализация	0,5	220
Шкаф технических средств охраны	1,0	220
Щит собственных нужд	1,26	220
Освещение площадки	0,075	220
Освещение укрытия	0,018	220
Прочие потребители	1.1	220
Итого	10,433	

Таблица 3- Максимальное потребление рассматриваемого объекта [Приложение А, Рисунок А2]

№	Максимальное потребление электроэнергии в сутки (зимний период), кВт*ч/сут.	Максимальное потребление электроэнергии в месяц (зимний период), кВт*ч/мес.
1	10,1	1584

Таблица 4- Потребление электроэнергии и уровни электрических нагрузок потребителей рассматриваемого объекта [Приложение А, Рисунок А3]

Месяц	Объем потребления электроэнергии, кВт*ч	Максимальные значения нагрузки, кВт	Максимальное значение нагрузки, в % от суммарной номинальной мощности	Минимальное значение нагрузки, кВт	Минимальное значение нагрузки, в % от суммарной номинальной мощности
Янв.	1584	10,1	96,8	1,512	14,49
Фев.	1443,3	9,64	92,4	1,432	13,73
Март	1248,7	9,12	87,4	0,9	8,63
Апр.	1034,2	8,87	85	0,875	8,39
Май	993,4	7,64	73,2	1,231	11,8
Июнь	987,5	7,55	72,4	1,111	10,64
Июль	1020,3	8,55	82	1,055	10,1
Авг.	1064,1	8,67	83,1	1,132	10,9
Сент.	1150,3	8,99	86,2	0,967	9,3
Окт.	1270,4	9,45	90,6	0,785	7,5
Ноя.	1239,0	9,33	89,4	0,654	6,3
Дек.	1384,2	9,44	90,5	1,325	12,7
Год	12835,4	10,1	96,8	0,654	6,3

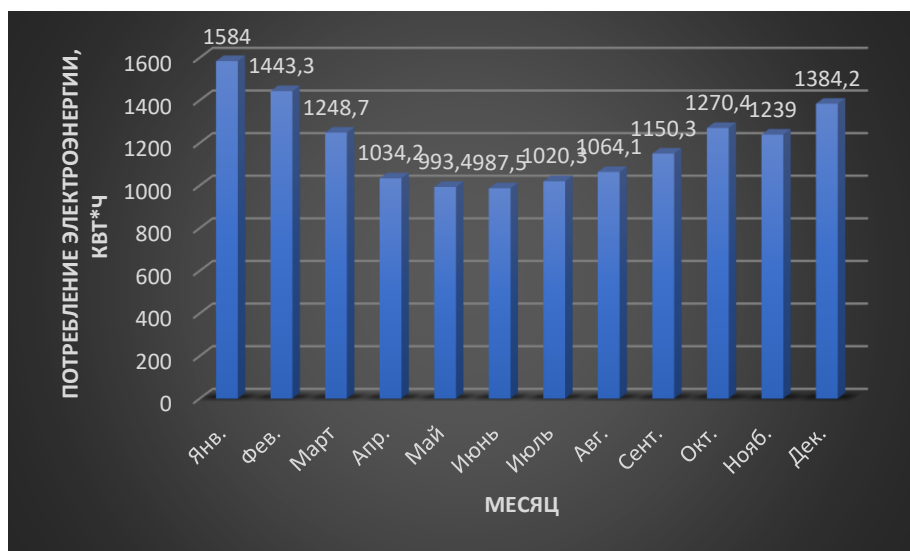


Рисунок 5 - Годовой график потребления электроэнергии потребителями рассматриваемого объекта

Потребление электроэнергии неравномерные, этот вывод можно сделать из таблицы 4. В декабре есть как максимальные и минимальные значения нагрузки за весь год.

Часть потребителей рассматриваемого объекта работают в повторно- кратковременном режиме, это объясняет неравномерное потребление.

Согласно рисунку 5, можно сделать вывод, что потребление зимой (январь, декабрь) больше, чем летом. Также можно увидеть разницу в суточных графиках нагрузки за 23 января и 17 августа, приведенных на рисунке 6. Данные взяты из Приложения А, рисунок А3.

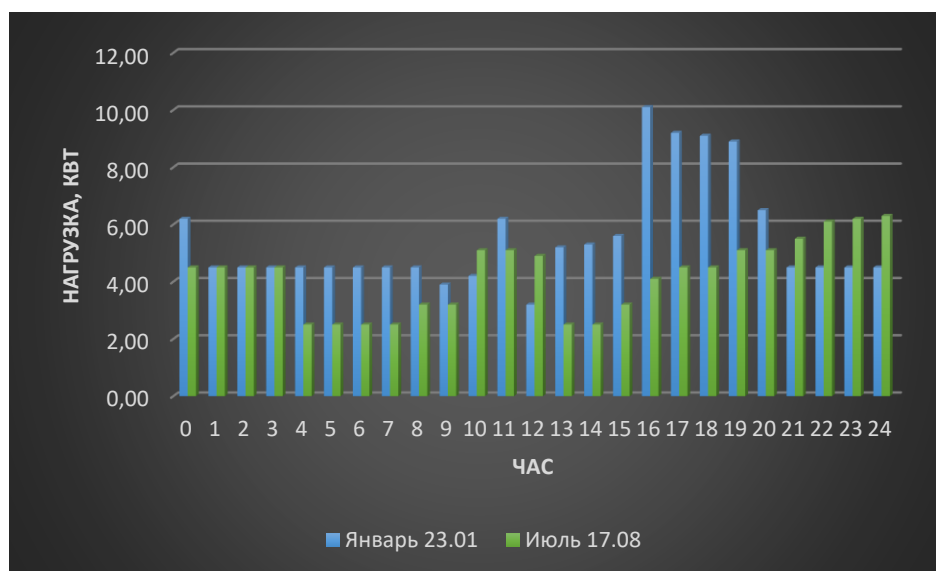


Рисунок 6- Летний и зимний суточные графики нагрузки рассматриваемого объекта [Приложение А, рисунок А3]

3.2 Оценка ветрового и солнечного потенциала

Климат Ханты-Мансийска, умеренный континентальной области тайги и лесостепей с достаточным увлажнением. Формируется преимущественно под влиянием континентального арктического воздуха.

Зимы обычно суровые и продолжительные – температуры воздуха ниже -30°C зафиксированы во все месяцы с ноября по апрель, а ниже -40°C не наблюдалось только в апреле. Самые холодные дни наблюдались в январе 1964 г. и декабре 1968 г., когда температура воздуха понижалась до $-49,0^{\circ}\text{C}$. Сильные ветры катастрофически понижают температуру комфорта. Ну, а средняя температура января составляет всего лишь $-18,9^{\circ}\text{C}$. Оттепели в зимнее время очень редки, тем не менее, возможны.

Лето в противовес зимы может быть жарким, однако обычно периоды жары кратковременны и часто сменяются привычными для жителей города ночными заморозками. Средняя температура июля $+18,4^{\circ}\text{C}$, абсолютный минимум этого месяца составляет $+1,2^{\circ}\text{C}$, а максимум $+34,5^{\circ}\text{C}$.

Весна короткая с частыми возвратами холодов и солнечной погоды. Лето наступает в Ханты-Мансийске в июне, а в июле столбик термометра в среднем держится на отметке $+18,3^{\circ}\text{C}$. Абсолютный максимум температуры наблюдался трижды: в мае 1952 г., в июне 1955 г. и июле 1957 г. В это время столбик термометра поднимался до $+34,5^{\circ}\text{C}$. [36]

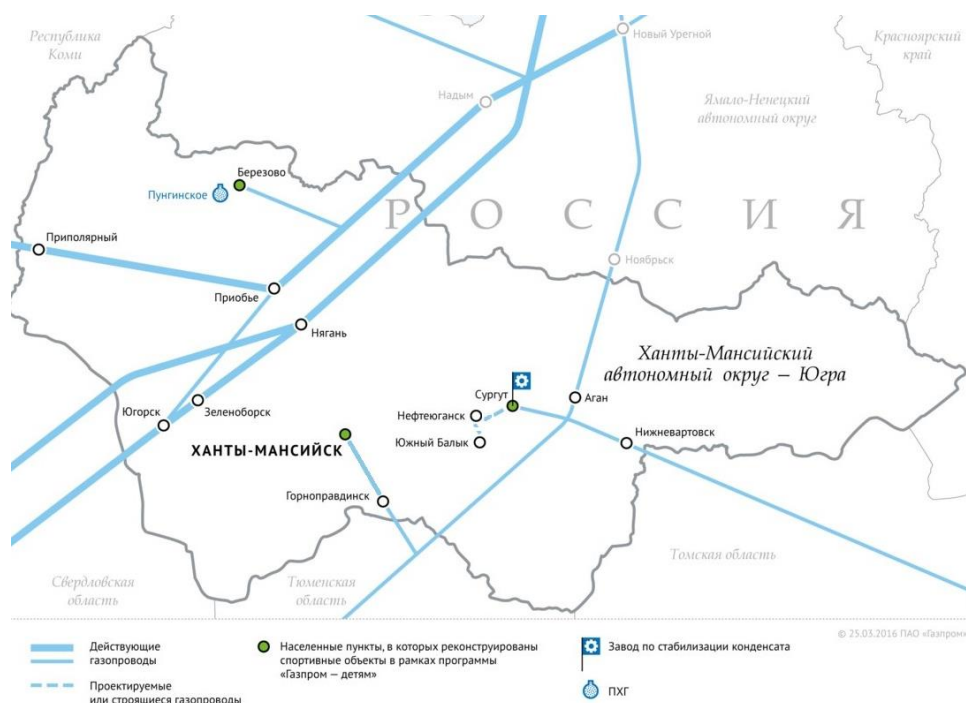


Рисунок 7- Карта газопроводов Ханты-Мансийского автономного округа актуальная на 2019 год [37]

Рассматриваемый объект находится в Нефтеюганском районе, точное местоположение в техническом задании не дали. Поэтому согласно информации о газификации региона представленной в [37], я буду рассматривать газопроводы, проходящие через населенные пункты и на пути их прохождения, выберу точку для оценки климатического потенциала. В рамках предпроектного расчета и условиях ограниченности исходных данных этого будет достаточно.

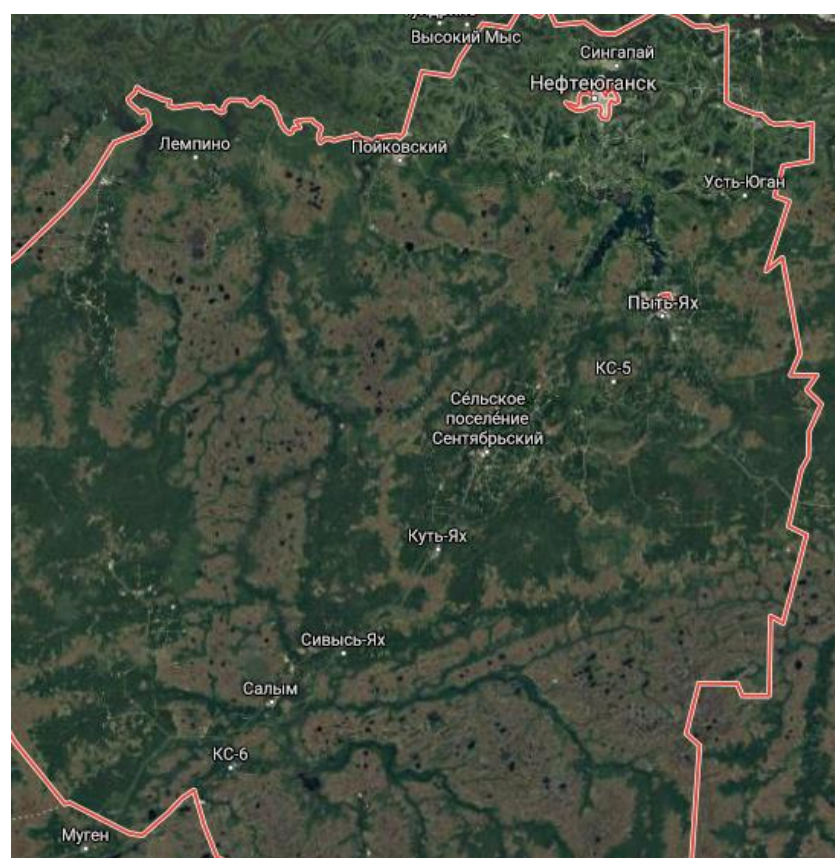


Рисунок 8 - Карта Нефтеюганского района [38]

На рисунке 8 можно увидеть обозначения КС-5 и КС-6. Это компрессорные станции, через которые проходят газопроводы. Например, от КС-5 к населенным пунктам Сентябрьский и к Пыть-Ях. Так же наличие КС-6 говорит о том, что по направлению от КС-5 к КС-6 в данной области проложены газопроводы. Для расчетов будет рассмотрен газопровод, проходящий от КС-5 к труднодоступному населённому пункту Лемпино.

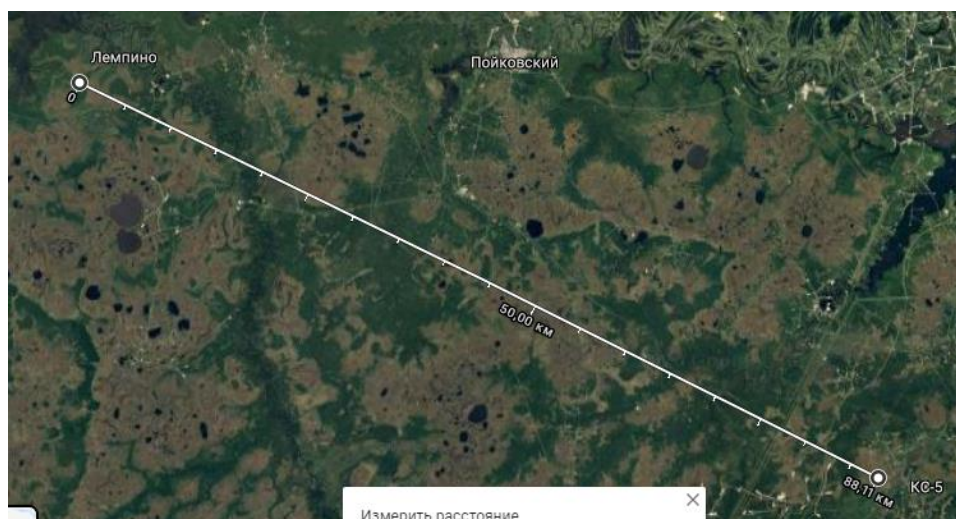


Рисунок 9- Расстояние между КС-5 и населенным пунктом Лемпино [38]

Расстояние между КС-5 и населенным пунктом Лемпино составляет 88,11 км (Рисунок 9). Узлы запорной арматуры устанавливаются в среднем каждые 20-25 км, следовательно, на трассе установлено не менее трех узлов. Для дальнейшего анализа принимаются во внимание эти допущения.

Оценка ветроэнергетического потенциала

Для оценки ветроэнергетического потенциала можно воспользоваться сервисом Nasa Power Data Access Viewer.

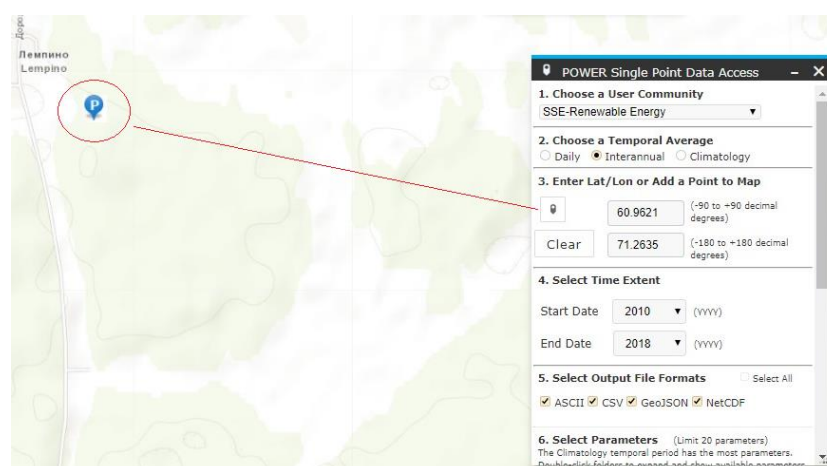


Рисунок 10- Местоположение объекта на карте сервиса Nasa Power Data Access Viewer [39]

Данный сервис содержит статистические данные по скоростям ветра на высоте 12 м. Класс открытости данной местности можно оценить по методике Ю.В. Милевского. Форма рельефа данной местности является - выпуклой. Вокруг болота и небольшие леса, можно сделать вывод, что объект

находится среди элементов защищенности, вдали от водной поверхности. Класс открытости – ба (7). [40]

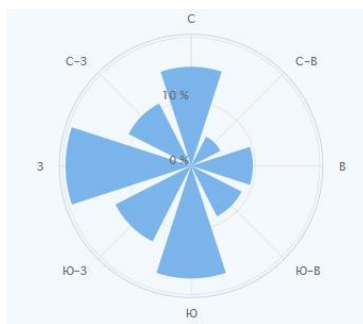


Рисунок 11- Роза ветров [41]

Как следует из данных о повторяемости направлений ветра в [41] в этом районе преобладает западный ветер. Характерные статистические данные обработки многолетних наблюдений за скоростью ветра баз NASA приведены в приложении В. Для наглядности, на основе данных из приложения В, построен следующий график:

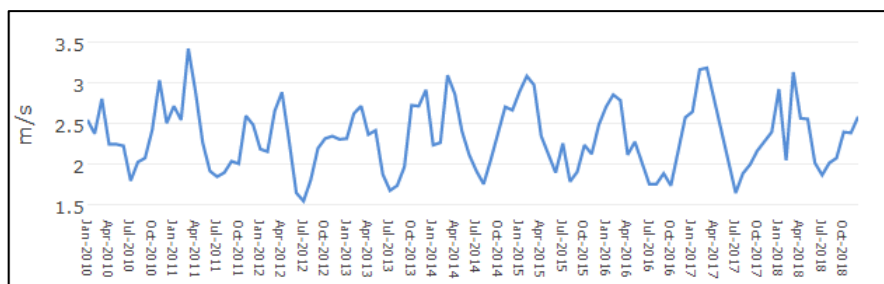


Рисунок 12- Средняя по месяцам скорость ветра с 2010 по 2018

Из этих данных следует, что основная ветровая активность наблюдается в зимний и весенний периоды. Максимальные значения ветров за 8 лет наблюдается именно в этом периоде. А минимальные значения скоростей ветра наблюдаются каждый год в летнем периоде. Для более полного понимания необходимо оценить динамику изменения среднесуточных скоростей ветра. Так как динамика по годам особо не меняется, достаточно будет данных за 2018 год. Для этого были также проанализированы данные среднесуточных скоростей ветра за месяцы январь, апрель, июль и октябрь 2018 года в приложении В, Рисунок В2. На основе этих данных построены графики изменения среднесуточных скоростей в течении рассматриваемых месяцев (Рисунок 13).

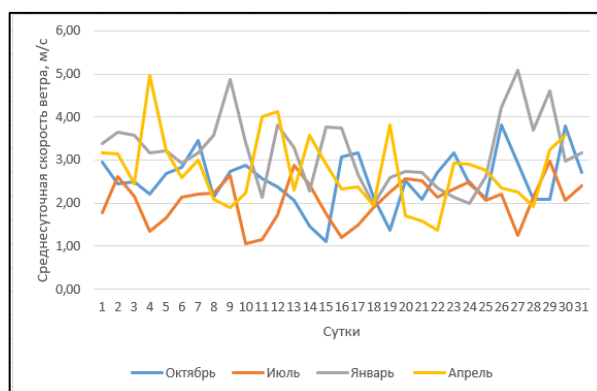


Рисунок 13 – Динамика изменения среднесуточной скорости ветра за месяцы 2018 года

Из рисунка 13 видно, что минимальные значения среднесуточных скоростей наблюдаются в июле – 1 м/с, а максимальные в январе - 5,1 м/с.

Таблица 5- Среднегодовые скорости ветра с 2010 до 2018 года [Приложение В, рисунок В1]

Год	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Скорость ветра м/с	2,35	2,38	2,19	2,33	2,37	2,34	2,22	2,38	2,38

В таблице 5 представлены среднегодовые скорости ветра в период с 2010 до 2018 года. Среднее значение за 8 лет равно 2,618 м/с (Таблица 5). Ниже представлены диаграммы (Рисунок 20-23) взятые из Nasa Power Data Access Viewer [39]. Они показывают количество дней с определенной среднесуточной скоростью в году.

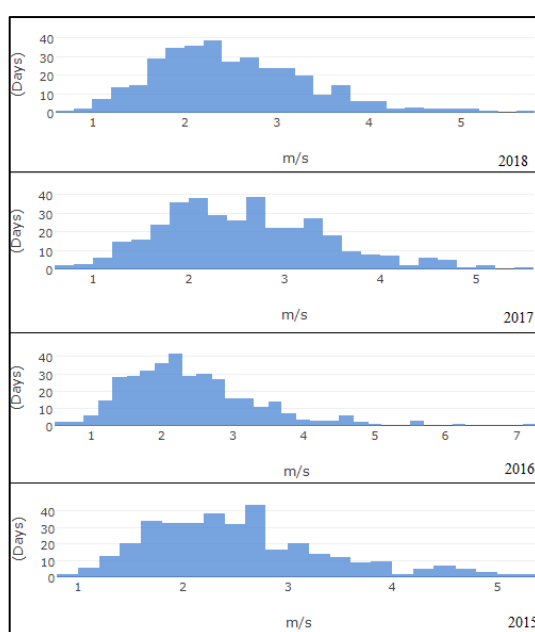


Рисунок 14 - Диаграммы повторяемости скоростей ветра с 2015 – 2018г.

Результат оценки ветрового потенциала:

В целом после анализа полученных данных можно сделать вывод, что район обладает низким ветровым потенциалом. Среднее значение среднегодовых скоростей за 8 лет равно 2,618 м/с. Это может привести к нецелесообразности использования ветрогенераторов в составе энергокомплекса, так как данное значение скорости ветра для большинства ветрогенераторов близко, равно или ниже минимальной рабочей скорости ветра, при которой ветрогенераторы начинают вырабатывать электроэнергию. Но существуют ветрогенераторы, которые специально спроектированы для работы в условиях низких скоростей ветра. Это могут быть как горизонтально-осевые, так и ортогональные ветрогенераторы. Обычно, минимальная рабочая скорость ветра у них около 2 м/с. Здесь как раз можно обратить внимание на то, что 261 день в 2018 году наблюдалась среднесуточная скорость более 2 м/с. В 2017 году- 263 дня, в 2016 году- 252, в 2015 году- 256 дней (Рисунок 14). Эти данные наблюдения на высоте флюгера 12 м. Если высота мачты ВЭУ выше, то значение скорости может

быть больше. Поэтому ветрогенераторы не исключаются из рассмотрения как потенциально возможный источник энергии в составе гибридной электростанции.

Оценка солнечного потенциала

На основании данных, представленных в Приложении В- Таблица В1, построен график помесячного распределения годового прихода суммарной солнечной радиации на горизонтальную площадку (суммарная солнечная радиация за 1 месяц) в течении 8 лет (с 2010 по 2018) в районе расположения объекта (Рисунок 15).

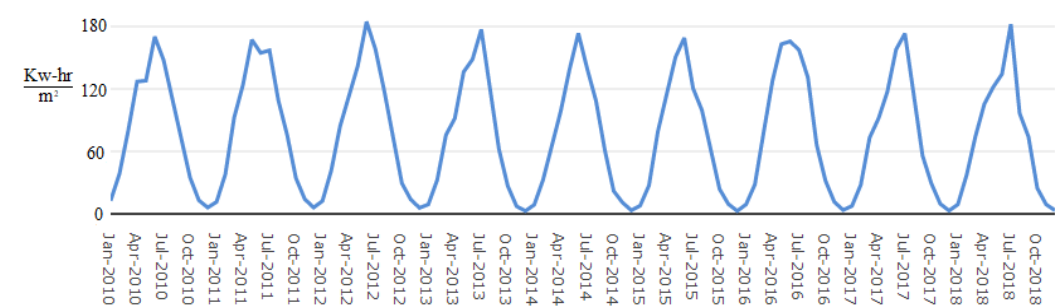


Рисунок 15 - Помесячное распределение суммарной солнечной радиации в период с 2010 по 2018

Согласно рисунку 15, можно сделать вывод, что наибольшая солнечная активность в течении 8 лет приходится на летние периоды, а максимумы наблюдаются в июле.

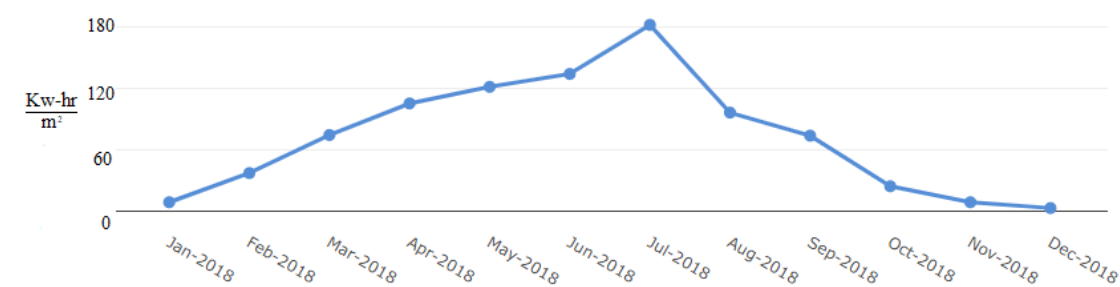


Рисунок 16- Помесячное распределение суммарной солнечной радиации за 2018

Для наглядности построен график помесячного распределения в течении 2018 года. (Рисунок 16). Согласно [41], солнечная электроустановка будет эффективна, если суммарный годовой приход солнечной радиации на квадратный метр будет больше, чем 1000 кВт·ч.

Таблица 6- Суммарные годовые значения прихода солнечной радиации на горизонтальную поверхность с 2010-2018 [Приложение С, Таблица С1]

Год	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Сумма	967,82	944,77	856,34	918,22	892,49	899,31	904,21	885,98	892,8
Ср. знач.	906,88								

В результате, рассчитаны суммарные значение прихода солнечной радиации за каждый год и среднее за 8 лет. Оно равно 906,88 кВт·ч на квадратный метр. Это значение меньше, чем 1000 кВт·ч. Также наблюдается существенная неравномерность прихода солнечной энергии в течении года (Рисунок 15,16). В данных условиях использование солнечной энергии не целесообразно. Реализация солнечного потенциала исключается из рассмотрения.

3.3 Обоснование выбора состава основного оборудования

В этом разделе определен состав энергокомплекса по усредненным показателям. Рассчитаны коэффициенты использования установленных мощностей ветрогенераторов. Оценены варианты ветрогенераторов, их возможное эффективное использование в рассматриваемой географической местности, количество установок по каждому из видов источников и их мощности. Под основным составом оборудования подразумеваются установки источников электроэнергии такие как ветрогенераторы, аккумуляторные батареи и ДГУ.

Исходные данные: скорость ветра по данным базы данных Nasa $V_{cp}=2,618$ м/с, годовое потребление $E_{год}=12835,4$ кВт·ч/год и максимальное значение нагрузки в году $P_n=10,1$ кВт·ч/сут. Для учета возможных отклонений расчетных величин нагрузки от их фактических значений принимается поправочный коэффициент $k_n=1,1$.

Выбор ветрогенератора

Выбор ВЭУ осуществляется из 11 вариантов. Их технико- экономические характеристики представлены в таблице С1 приложения С. Отбор этих вариантов осуществлялся согласно минимальной скорости ветра, высоте башни и цены ветрогенератора.

Для расчета среднегодовой скорости ветра, приведенной к высоте башни ВЭУ используется следующая формула [42]:

$$V_{при}(H_{БК}) = K_n V_{fi}^{min} \frac{K_0}{K_\phi} \left(\frac{H_{БК}}{h_\phi} \right)^{0,6} (V_{fi}^{min})^{-0,77} \quad (1)$$

Где K_n -коэффициент изменения скорости ветра, учитывающий специфику рельефа местности, V_{fi}^{min} – нижняя граница диапазона скорости ветра на высоте флюгера метеостанции K_0 - класс открытости местности по Милевскому, K_ϕ – фактический класс открытости метеостанции, $H_{БК}$ – высота оси ветроколеса, h_ϕ – высота флюгера.

Фактический класс открытости определяется по формуле [43]:

$$K_\phi = \sum_{j=1}^8 K_{\phi j} \tau_j \quad (2)$$

Где $K_{\phi j}$ – класс открытости по j-му румбу, τ_j - повторяемость направления ветра j-го румба

Как видно из формулы (2) K_ϕ определяется как средневзвешенный, учитывающий местную розу ветров, которая приведена на рисунке 14. Под румбами подразумеваются направления частей света, их восемь (с Севера до Северо-запада), порядок рассчитывается по часовой стрелке, начиная с севера.

$$K_\phi = \sum_{j=1}^8 K_{\phi j} \tau_j = 7 \cdot 0,15 + 7 \cdot 0,11 + 7 \cdot 0,2 + 7 \cdot 0,12 + 7 \cdot 0,18 + 6 \cdot 0,08 + 6 \cdot 0,1 + 6 \cdot 0,05 = 6,7 \quad (3)$$

Коэффициент изменения скорости ветра, учитывающий специфику рельефа местности, принят равным $K_n = 1$

Пример расчета для BWC Excel 10. Высота башни данной модели будет составлять 49 метров. Скорость ветра согласно формуле (1)

$$V_{пр}(H_{БК}) = K_{и} V_{ср} \frac{K_0}{K_{\phi}} \left[\left(\frac{H_{БК}}{h_{\phi}} \right)^{0,6} (V_{ср})^{-0,77} \right] = 1 \cdot 2,618 \cdot \frac{7}{6,7} \cdot \left[\left(\frac{49}{10} \right)^{0,6} (2,618)^{-0,77} \right] = 4,3 \text{ м/с (4)}$$

Мощность ВЭУ при среднегодовой скорости, приведенной к высоте башни, определяется по паспортной зависимости мощности от скорости ветра. На рисунке 17 показана подобная зависимость для ВЭУ BWC Excel 10.

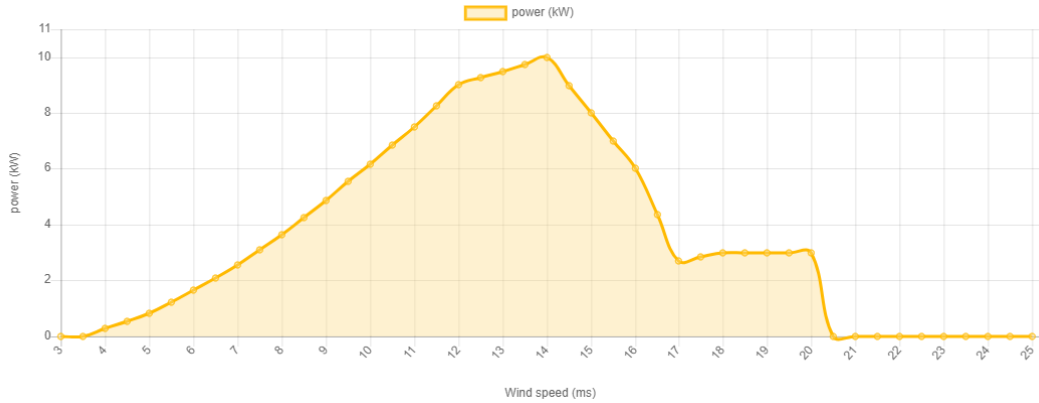


Рисунок 17 – Зависимость мощности ветроэнергетической установки BWC Excel 10 [44]

Из рисунка 17 видно, что при скорости ветра $V_{пр}(H_{БК}) = 4,3 \text{ м/с}$ мощность ВЭУ составляет $P_{ВЭУ} = 410 \text{ Вт}$.

Далее по формуле (5) нужно определить количество ВЭУ, необходимое для покрытия среднегодовой нагрузки:

$$n_i^{\max} = \left[K_{н} \cdot \frac{E_{\text{год}}^{\text{п}}}{E_{i\text{год}}} \right] \quad (5)$$

Где $K_{н} = 1,05 \dots 1,15$ – постоянный коэффициент, учитывающий возможные отклонения расчетных величин от их фактических значений, т.к. потребление электроэнергии в течении года может быть существенно неравномерным, $E_{\text{год}}^{\text{п}}$ – годовое потребление электроэнергии потребителями объекта, $E_{i\text{год}}$ – годовая выработка электроэнергии источником преобразующий возобновляемый ресурс.

Расчет количества ВЭУ типа BWC Excel 10:

$$n_{ВЭУ}^{\max} = \left[K_{н} \cdot \frac{E_{\text{год}}^{\text{п}}}{E_{ВЭУ\text{год}}} \right] = \left[1,11 \cdot \frac{12835400}{410 \cdot 8760} \right] = 4 \quad (6)$$

Для полученного числа ветрогенераторов в составе ветровой электростанции, определяется мощность и выработка электроэнергии ветровой электростанции в течение года при среднегодовой скорости ветра, приведенной к высоте башни:

$$P_{ВЭС} = P_{ВЭУ} \cdot n_{ВЭУ}^{\max} = 410 \cdot 4 = 1640 \text{ Вт (7)}$$

$$E_{ВЭС\text{год}} = P_{ВЭС} \cdot T_{\text{год}} = 1640 \cdot 8760 = 14366,4 \text{ кВт} \cdot \text{ч/год (8)}$$

Выработка ВЭС при номинальной мощности (при номинальной скорости ветра) равна, соответственно:

$$E_{ВЭС\text{год}}^{\text{ном}} = P_{ВЭС}^{\text{ном}} \cdot T_{\text{год}} = P_{ВЭУ}^{\text{ном}} \cdot T_{\text{год}} \cdot n_{ВЭУ}^{\max} = 10 \cdot 8760 \cdot 4 = 350400 \text{ кВт} \cdot \text{ч/год (9)}$$

Коэффициент использования установленной мощности ветрогенератора рассчитывается по формуле:

$$K_{\text{иум ВЭУ}} = \frac{E_{\text{ВЭУгод}}}{E_{\text{ВЭУгод}}^{\text{ном}}} = \frac{14366,4}{350400} = 0,041 = 4,1\% \quad (10)$$

Аналогичные расчеты проводятся для всех других моделей ветрогенераторов. Рассчитаны все 11 вариантов. Результаты расчета КИУМ приведены в таблице С2 приложения С.

Как следует из результатов расчета, максимальный КИУМ получен у ВЭУ SW-2,5 KW, который составляет 11,2%.

Выбор традиционного источника и аккумуляторных батарей

В качестве традиционного источника рассматривается ДГУ. В расчетах по усредненным показателям мощность традиционного источника выбирается из максимума нагрузки, учитывая нормальную загрузку на дизельный генератор 70%:

$$P_{\text{тр}} = \frac{[P_{\text{н}}^{\text{max}}]}{70} \cdot 100 = \frac{10,1}{70} \cdot 100 = 14,43 \text{ кВт} \quad (21)$$

ДГУ выбирается по минимальному удельному годовому расходу топлива. Выбор заключается в сравнении паспортных данных, а именно сравнения удельного расхода топлива рассматриваемого ДГУ у которых одинаковая мощность, основным критерием выбора является минимальный расход топлива. При этом учитывается предполагаемый в данном расчете режим работы ДГУ- включение, когда мощности возобновляемых источников недостаточно для покрытия нагрузки, а батареи разряжены, в этот момент дизель начинает работать в номинальном режиме, часть мощности будет идти на покрытие нагрузки, другая часть – на заряд аккумуляторной батареи. В иных случаях ДГУ не работает. Нужно учитывать, что ток заряда аккумуляторной батареи, приходящий от дизеля, должен соответствовать допустимому току заряда батареи. В итоге допускается, что ДГУ работает всегда на номинальной мощности, удельный годовой эффективный расход топлива будет равен паспортному.

Для рассмотрения выбрана дизельную генераторную установку GENBOX KBT15M-3000. Технические характеристики приведены в Приложении D, Таблица D1

Обычно аккумуляторные батареи выступают в качестве аварийного источника питания для электроснабжения потребителей особой первой группы, если, например пропадает питание от основного и резервного источника питания. В этом случае емкость аккумуляторной батареи должна соответствовать питанию нагрузки потребителей особой первой группы, во время отключения основного и резервного источников питания на необходимое время восстановления основного, при этом учитывая транспортную доступность, перепады температур, удаленность объекта от инфраструктур и потери емкости батареи при снижении температуры [5]

Если аккумуляторные батареи используются в составе энергокомплекса с возобновляемыми источниками энергии, то они уже будут выполнять другую функцию. В этом случае аккумуляторные батареи является буферным накопителем энергии, которая в свою очередь поступает от возобновляемого источника энергии неравномерно. Благодаря этому появляется возможность более эффективно перераспределить получаемую энергию от возобновляемых ресурсов во времени, а также сгладить пики нагрузки. Чтобы энергия от таких источников использовалась более эффективно, необходимо емкость батарей оптимизировать соответствующим образом, за счет этого

неравномерность распределения энергии от возобновляемого источника будет минимальной, а включение традиционного будет происходить реже. Должны быть учтены и оптимизированы траты на саму батарею. Из этого следует, что вопрос запасаения энергии является особо важным при использовании возобновляемых источников.

Основной для выбора емкости батареи является время резервирования среднегодового потребления. Согласно техническому заданию, напряжение одной батареи принимается постоянным 12 В, глубина разряда порядка 80%. Время автономного питания 32 часа. Учитывая эти исходные данные, хорошо себя проявляют литий-ионные элементы. Для расчета емкости аккумуляторной батареи я использую следующую формулу:

$$Q_{\text{Абрасч}}^{\text{ном}} = \frac{p_{\text{н}}^{\text{рез}} \cdot t_{\text{рез}}}{U_{\text{АБ}}^{\text{ном}} \cdot k_{\text{АБ}}} = \frac{k_{\text{н}} \cdot E_{\text{год}}^{\text{н}} \cdot t_{\text{рез}}}{T_{\text{год}} \cdot U_{\text{АБ}}^{\text{ном}} \cdot k_{\text{АБ}}} = \frac{1,1 \cdot 12835,4 \cdot 1000}{8760} \cdot 32}{12 \cdot 0,8} = 5372,5 \text{ А} \cdot \text{ч} \quad (22)$$

Потери в преобразовательных устройствах не учитываются. Для рассчитанной емкости подбирается номинальная емкость и количество параллельно соединенных элементов. Выбраны гелиевые аккумуляторы производства «VOLTA GST» номинальной емкостью 200 А·ч. Технические характеристики приведены в приложении D, таблица D2. Максимальное число батарей в конфигурации:

$$n_{\text{АБ}} = \frac{Q_{\text{АБ}}^{\text{ном}}}{Q_{\text{АБ}}^{\text{ном}}} = \frac{5372,5}{200} = 28 \quad (23)$$

3.4 Конфигурации гибридной электростанции

Итак, после вышеописанных расчетов, в состав основного оборудования гибридной электростанции могут входить: ветрогенераторы, дизельная электростанция и аккумуляторные батареи. Рассматриваемый объект характеризуется как потребитель особой первой группы, ему необходимо три независимых источника электропитания. Если не использовать в составе ВЭУ, то ещё одним дополнительным источником питания можно взять вторую дизельную электростанцию. Вариант без аккумуляторной батареи невозможен по причине, что перерыва в электроснабжении нельзя допускать ни на секунду. При аварийном переключении питания на аккумуляторные батареи, появляется время на переключение на третий аварийный источник питания, например на вторую дизельную электростанцию.

Таблица 7 – Возможные варианты конфигурации основного оборудования гибридной электростанции

	ВЭУ, шт.	ДГУ, шт.	Блок АБ, шт.
Конфигурация А	n	1 или 2	1
Конфигурация В	0	2	1

Где n — это переменная величина количества ветрогенераторов. Они могут принимать значения $n = [0...6]$, где 6 — это значение для полного покрытия среднегодовой нагрузки ветрогенераторами. Необходимо определить их оптимальные значения для минимизации работы дизельной электростанции. В данной задаче имеются нелинейные зависимости математических моделей установок на основе возобновляемых источников энергии, а также случайные величины в исходной информации (поступление энергии от возобновляемых источников во времени).

Расчет значений выработки электроэнергии ветрогенераторами

Для расчета выработки электроэнергии ветрогенераторами необходимо построить график распределения скоростей ветра в течение года. Значений среднесуточных скоростей ветра недостаточно. Необходимо учитывать количество периодов наблюдения конкретных градаций ветра. Набор данных, который можно взять из [49], содержит тридцатиминутные интервалы измерения скоростей за несколько лет метеостанции рассматриваемого района [Приложение Е, рисунок Е1]. Для анализа данных используется пакет программ Excel. Поскольку объем данных очень большой, на рисунках Е1-Е2 приведены только небольшие части.

На рисунке Е2 показаны измерения скорости ветра каждые 30 минут, их значения усреднены за 5 лет. Анализ набора данных произведен в соответствии с методом, представленным в [50]. С помощью программного комплекса Excel было рассчитано количество повторений определенных градаций скорости ветра в каждом месяце, начиная с 2,5 м/с, поскольку это минимальное значение для работы ветрогенератора. Максимальное фиксированное значение для всех месяцев: 5,5 м/с. Результаты представлены в таблице Е1.

Далее на основе этих результатов были рассчитаны вероятности градации скоростей ветра в течении рассматриваемого промежутка времени по формуле 34:

$$F_{vi} = \frac{n_i}{N} \cdot 100\% \quad (34)$$

Где F_{vi} – вероятность градации скорости ветра (V_i) в течение рассматриваемого промежутка времени; n_i – зафиксированное количество измерений i -ой градации ветра; N - общее количество измерений. Результаты представлены в таблице Е2. Эти значения были пересчитаны в количество часов за месяц и суммарные за год (таблица Е3) и построен график распределения скоростей ветра в течении года.

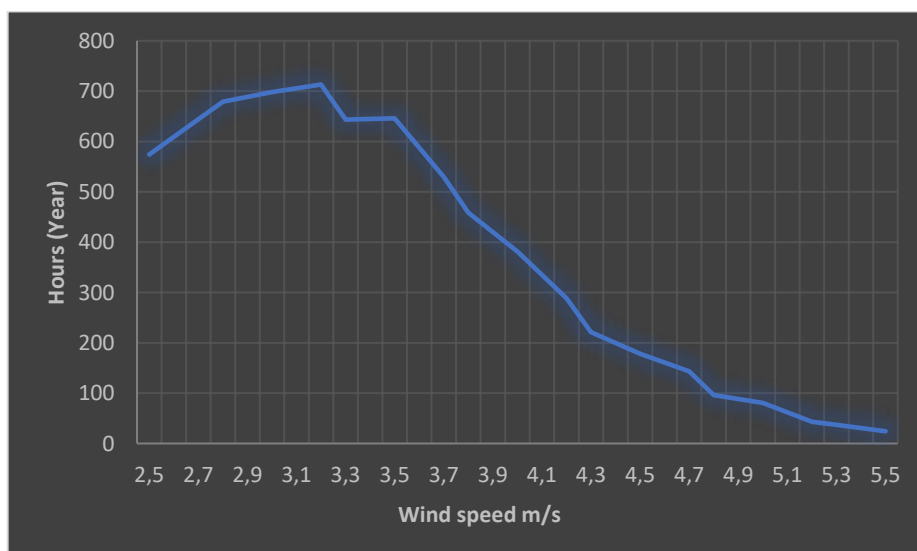


Рисунок 18- График повторяемости различных скоростей ветра за усредненный год

На основе этих данных высчитывается сколько будет вырабатывать один ветрогенератор выбранной модели за месяц для подробного расчета покрытия потребления. Для этого анализируется его мощностная характеристика (рисунок 19)

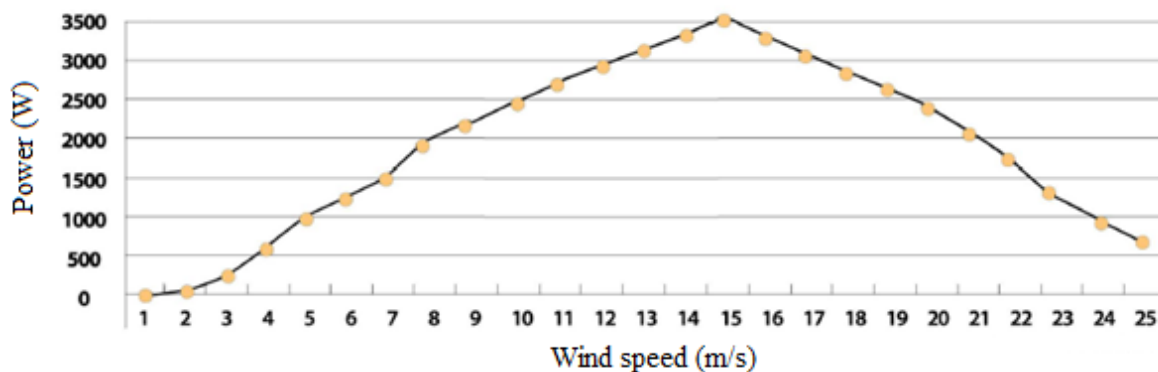


Рисунок 19 – Характеристика мощности ветрогенератора SW-2,5 KW в зависимости от скорости ветра [51]

На основе зависимости (рисунок 19) и числа часов наблюдения, соответствующих градации ветра, рассчитана выработка электроэнергии за месяц:

$$W_{\text{ВГ}} = \sum_{i=2,5}^{5,5} (T_i \cdot P_i) \quad (35)$$

Результаты расчетов приведены в таблице 8.

Таблица 8- Значения месячных выработок электроэнергии одним ветрогенератором

Месяц	Энергия, кВт·ч
Январь	294,15
Февраль	242,73
Март	538,86
Апрель	445,08
Май	378,38
Июнь	296,07
Июль	195,04
Август	193,29
Сентябрь	211,48
Октябрь	339,35
Ноябрь	276,44
Декабрь	306,964

Расчет энергетических балансов

Варианты выбора структуры построения и оборудования гибридной электростанции могут прорабатываться на основе энергетического баланса автономной системы электроснабжения. Соотношение ветровой и дизельной генерации для покрытия электрических нагрузок объекта электроснабжения определяется установленной мощностью ветрогенераторов, энергетическим потенциалом ветра и средним энергопотреблением на рассматриваемом временном интервале. Очевидно, что с увеличением установленной мощности ветрогенераторов возрастает доля ветровой генерации и экономится топливо, моторесурс дизель-генераторов. Однако, при этом увеличиваются капитальные затраты на ветроэнергетическое оборудование, что не всегда экономически целесообразно по сравнению с дизельной электростанцией. Таким образом, экономический критерий рационального соотношения затрат на ветровую и дизельную генерацию подразумевает как минимум ограничение расходов на ветровую часть гибридной электростанции на уровне достигаемой экономии на эксплуатацию дизельной части.

Итак, после сравнения КИУМ различных ветрогенераторов, для конфигурации А можно установить от 1 до 6 ветрогенераторов SW - 2,5 кВт, на данном этапе сложно сказать, какое количество будет оптимальным, необходимо учитывать экономические факторы, поэтому весь дальнейший анализ допускает 6 вариантов конфигурации А.

Необходимо определить, какая часть потребления будет покрываться за счет электроэнергии, произведенного ветрогенераторами.

Таблица 9 – Покрытие электрических нагрузок

Месяц	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
Потребление, кВтч	1584,00	1443,30	1248,70	1034,20	993,40	987,50	1020,30	1064,10	1150,30	1270,40	1239,00	1384,20
Выработка одним ВЭУ за месяц, кВтч	294,15	242,74	538,86	445,08	378,38	296,07	195,04	193,30	211,49	339,35	276,44	306,96
Покрытие нагрузки (1 ВЭУ), %	18,57	16,82	43,15	43,04	38,09	29,98	19,12	18,17	18,39	26,71	22,31	22,18
Покрытие нагрузки (2 ВЭУ), %	37,14	33,64	86,31	86,07	76,18	59,96	38,23	36,33	36,77	53,42	44,62	44,35
Покрытие нагрузки (3 ВЭУ), %	55,71	50,45	129,46	129,11	114,27	89,95	57,35	54,50	55,16	80,14	66,94	66,53
Покрытие нагрузки (4 ВЭУ), %	74,28	67,27	172,62	172,15	152,36	119,93	76,46	72,66	73,54	106,85	89,25	88,71
Покрытие нагрузки (5 ВЭУ), %	92,85	84,09	215,77	215,18	190,45	149,91	95,58	90,83	91,93	133,56	111,56	110,88
Покрытие нагрузки (6 ВЭУ), %	111,42	100,91	258,92	258,22	228,54	179,89	114,70	108,99	110,31	160,27	133,87	133,06

Расчет потребления дизельного топлива

В любых конфигурациях, независимо от того, установлены ветрогенераторы или нет, будет использоваться хотя бы одна ДГУ. Это решение было принято в соответствии с категорией

потребителя для которой требуется один - источник постоянного питания и два резервных. Третий источник питания в виде аккумуляторного блока рассчитан на 36 часов автономной работы будет использоваться во всех вариантах, что позволяет переключать дизельные генераторы между собой или резервировать энергию, пока прибывает ремонтная команда. В конфигурации А аккумуляторы позволяют более эффективно распределять энергию от ветрогенераторов.

Из вышеприведенных расчетов для дальнейшего экономического анализа были взяты две дизель-генераторные установки модели GENBOX KBT15M-3000 с номинальным расходом топлива 0,31 л/кВт·ч. Для дальнейшего экономического анализа необходимо рассчитать, сколько дизельного топлива необходимо для каждой конфигурации в год. Кроме номинального расхода топлива, существует реальный расход топлива, который зависит от нагрузки и может быть рассчитан по следующей формуле [41]:

$$G_{real} = k_{nl} G_n + (1 - k_{nl}) G_n \frac{P_l}{P_n} \quad (26)$$

Где G_{real} – реальный расход топлива; G_n – номинальный расход топлива; k_{nl} – коэффициент потребления топлива без нагрузки ($k_{nl}=0,3$); P_l – Нагрузка; P_n – Номинальная мощность генератора ($P_n=14,9$ kW)

Результаты по реальному расходу топлива (50%, 75%, 100% нагрузки) приведены в таблице D1. Известен номинальный расход топлива для соответствующего режима нагрузки и объем генерируемой энергии, далее рассчитывается объем потребленного топлива за период времени по следующей формуле [41]:

$$Q_f = G_l W \quad (27)$$

Где W – годовое потребление электроэнергии

Таблица 10 – Годовое потребление топлива

Вариант компановки	Конфигурация А						Конфигурация В
	1 WG	2 WG	3 WG	4 WG	5 WG	6 WG	
Потребление топлива тонна/год	3,32	2,16	1,26	0,62	0,18	0	4,47

Состав конфигураций

Выбор структуры гибридной электростанции может быть произведен на основе энергетического баланса автономной системы энергоснабжения. Соотношение использования в составе энергии ветра и дизельного топлива к электрическим нагрузкам объекта определяется установленной мощностью ветрогенераторов, потенциалом энергии ветра и средней потребляемой

мощностью в рассматриваемом интервале времени, категорией потребления электроэнергии. На практике обычно используют следующие топологии [41]:

1) Автономные системы электроснабжения на основе возобновляемых энергоисточников

Переменный характер нагрузки электропотребления и энергетического потенциала ВИЭ вынуждает интегрировать устройства накопления электроэнергии и в зависимости от энергетического баланса часть системы строится на постоянном токе, а нагрузка запитывается через инвертор. Для обеспечения энергоэффективных режимов подобных систем необходима интеллектуальная система управления элементами. Обобщенная структура изображена на рисунке 19(а).

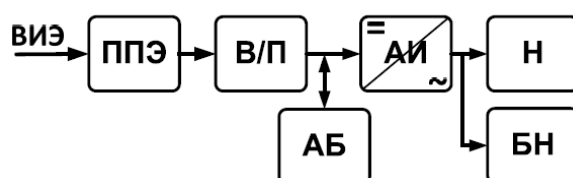


Рисунок 19(а) – Автономная установка возобновляемой энергетики. ВИЭ – возобновляемый источник энергии, ППЭ – преобразователь первичного энергоресурса, В/П – выпрямитель или преобразователь электроэнергии, АБ – аккумуляторная батарея, АИ – автономный инвертор, Н – нагрузка, БН – балластная нагрузка

2) Гибридные системы электроснабжения с дублирующими дизельными электростанциями

Сочетание гарантированного энергоисточника – ДЭС и нестабильного возобновляемого. Вариант энергетического комплекса с двумя энергоисточниками каждый из которых способен покрывать в определенные временные интервалы потребности электрической нагрузки характеризуется максимумом возможностей по замещению дизельной генерации энергией возобновляемого источника. Сокращение времени работы дизельной части энергокомплекса обеспечивает максимум экономии дизельного топлива и увеличивает срок эксплуатации ДЭС. Возможность отключения ДЭС в периоды высоких значений потенциала возобновляемого энергоресурса достигается усложнением состава гибридного энергокомплекса и алгоритмов управления его элементами. Обобщенные схемы представлены на рисунке 19(б).

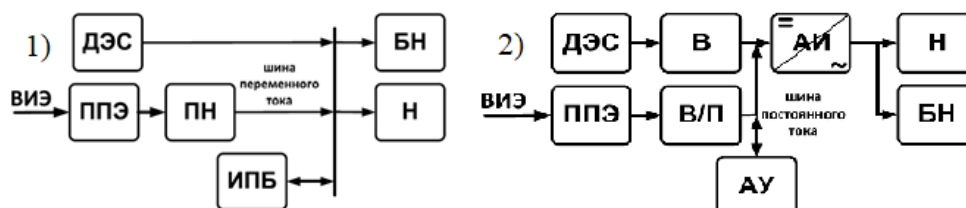


Рисунок 19(б) – Гибридный энергетический комплекс с дублирующей ДЭС. 1 – на шине АС 2 – шина ДС. ДЭС – дизельная электростанция, ППЭ – преобразователь первичного энергоресурса, ПН – преобразователь напряжения, ИПБ – источник бесперебойного питания, Н – нагрузка, БН – балластная нагрузка

3) Гибридные системы электроснабжения с совместной ветро-солнечно-дизельной генерацией

Совместная работа в автономной системе электроснабжения ДЭС и установок возобновляемой энергетики наиболее рационально осуществляется как работа ветровой и фотоэлектрической станции на электрическую сеть, образованную дизельной электростанцией. ДЭС в этом случае рассматривается как основной источник электроэнергии, а участие в генерации возобновляемых источников электроэнергии позволяет экономить часть топлива. Структура такого комплекса приведена на рисунке 19в.

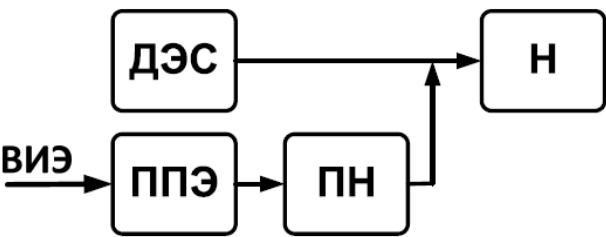


Рисунок 19(в) – Гибридный энергетический комплекс с постоянно работающей ДЭС

Применение какой-то определенной топологии в частном случае зависит от соотношения использования в составе энергии ВИЭ и от традиционного источника, категории электроснабжения. Вышеприведенные топологии отличаются составом вспомогательного оборудования и типом подключения к потребителю. Для рассматриваемого потребителя топология только на основе ВИЭ не допускается по ряду причин: начиная с категории электроснабжения (ОГ-1), заканчивая значительной переменности графика прихода ресурса ветра.

Таблица 11 – Выработка электроэнергии ветрогенераторами

Число ВЭУ	Производство электроэнергии ВЭУ (кВтч)													
	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Сумма год	
1	294,15	242,74	538,86	445,08	378,38	296,07	195,04	193,30	211,49	339,35	276,44	306,96	3717,88	25,78
2	588,31	485,47	1077,72	890,17	756,77	592,15	390,08	386,60	422,97	678,71	552,88	613,93	7435,76	51,57
3	882,46	728,21	1616,59	1335,25	1135,15	888,22	585,12	579,90	634,46	1018,06	829,33	920,89	11153,64	77,35
4	1176,61	970,94	2155,45	1780,33	1513,54	1184,30	780,16	773,20	845,94	1357,41	1105,77	1227,86	14871,51	103,14
5	1470,77	1213,68	2694,31	2225,42	1891,92	1480,37	975,21	966,50	1057,43	1696,76	1382,21	1534,82	18589,39	128,92
6	1764,92	1456,42	3233,17	2670,50	2270,31	1776,45	1170,25	1159,79	1268,91	2036,12	1658,65	1841,79	22307,27	154,70
Потребление	1584,00	1443,30	1248,70	1034,20	993,40	987,50	1020,30	1064,10	1150,30	1270,40	1239,00	1384,20	14419,40	

В таблице 11 представлено производство электроэнергии ветрогенераторами по месяцам, годам и также представлен процент покрытия от годового потребления. Этих данных достаточно, чтобы определить, какой тип структуры будет использоваться для конфигураций. Все рассматриваемые конфигурации с дизельной генерацией, структуры будут реализовываться по следующим принципам:

- 1) Совместная работам с электроустановками возобновляемой электроэнергетики на общую нагрузку
- 2) Использование ДГУ в качестве резервного источника питания
- 3) Электроснабжение только от ДГУ.

Варианты структуры для строительства энергетического комплекса рассматриваемого объекта будут осуществляться по трем структурам.

Структура 1

При использовании от 1 до 3 ветрогенераторов годовое покрытие нагрузки составляет менее 80% (таблица 11). В этих случаях большая часть электроэнергии должна поступать от дизельного генератора. Принцип построения этой структуры заключается в возможности получения дополнительной электроэнергии от ветряных турбин для снижения затрат на дизельное топливо и экономии ресурсов, основным источником которых является дизельный генератор. Для этого дизель-генератор должен иметь систему автоматического запуска, которая реагирует на изменения потребляемой мощности. В переходных условиях генерация, а также покрытие пиковой мощности происходит за счет работы модулей EATON питания мощностью 5 кВт (48 В) и аккумуляторного блока. Силовой модуль EATON представляет собой источник бесперебойного питания с различными функциями. Аккумулятор выполняет буферные функции. Подобные модули устанавливаются в специальный силовой шкаф. При недостаточной генерирующей мощности ветряных турбин силовой модуль запускает дизель-генератор, при увеличении генерирующей мощности ветряных турбин дизель-генератор отключается. АВР переключает сеть ветряных турбин и дизель-генератора. Во время работы дизель-генератора аккумуляторы заряжаются. Также, согласно категории электроснабжения, необходимо установить дополнительный резервный дизель-генератор и АВР для него.

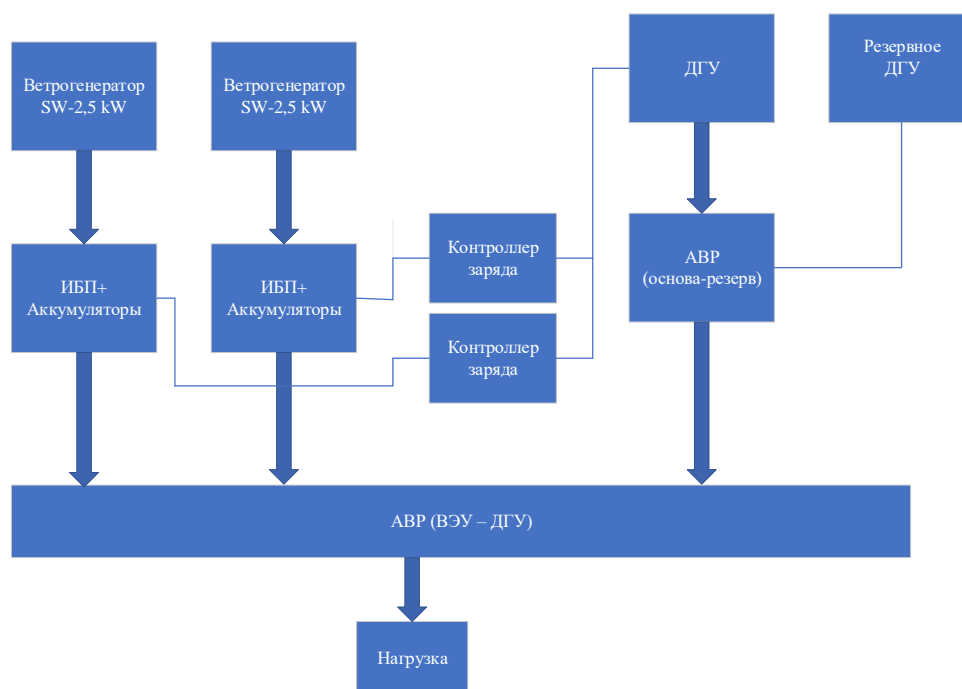


Рисунок 20 – Структура 1

Следует отметить, что в ветрогенераторе типа SW используется асинхронный генератор с фазным ротором с регулируемым возбуждением, который обеспечивает стабилизацию выходного напряжения статора. Блок управления питанием с источником бесперебойного питания обеспечивает питание нагрузок от ветрогенераторов через выпрямительно-инверторный преобразователь с накоплением избыточного электричества в батареях. В периоды отсутствия ветра питание нагрузок осуществляется с батарей, при разряде которых включается дизель-генератор и потребители

электроэнергии питаются от него. В то же время, дизельный генератор питает аккумуляторы через контроллеры заряда. Установка дополнительных балластных нагрузок не требуется.

Структура 2

При использовании от 4 до 6 ветрогенераторов годовой охват нагрузкой составляет более 85% (таблица 11). Рациональное решение для этого варианта - система с накоплением энергии и минимальным участием дизель-генераторов в эксплуатации. Батареи работают в буферном режиме, сглаживая колебания ветра и нагрузки, обеспечивая непрерывность электропитания при переключении нагрузок на дизельный генератор. В этой конструкции второй дизель-генератор не требуется, так как ветрогенераторы практически полностью заменяют работу основного.

В этом случае инвертор выполняет функции управления:

- Преобразование постоянного напряжения в переменное 220 В, 50 Гц
- Зарядка аккумуляторного блока
- Возможность синхронизации с электрогенератором, которая позволяет суммировать энергию от дизель-генератора и ветрогенераторов через батареи с приоритетом от возобновляемых источников энергии
- Автоматическое отключение при перегрузке, перегреве, защите аккумулятора от недопустимого разряда и других защит
- Переключение на дополнительную балластную нагрузку

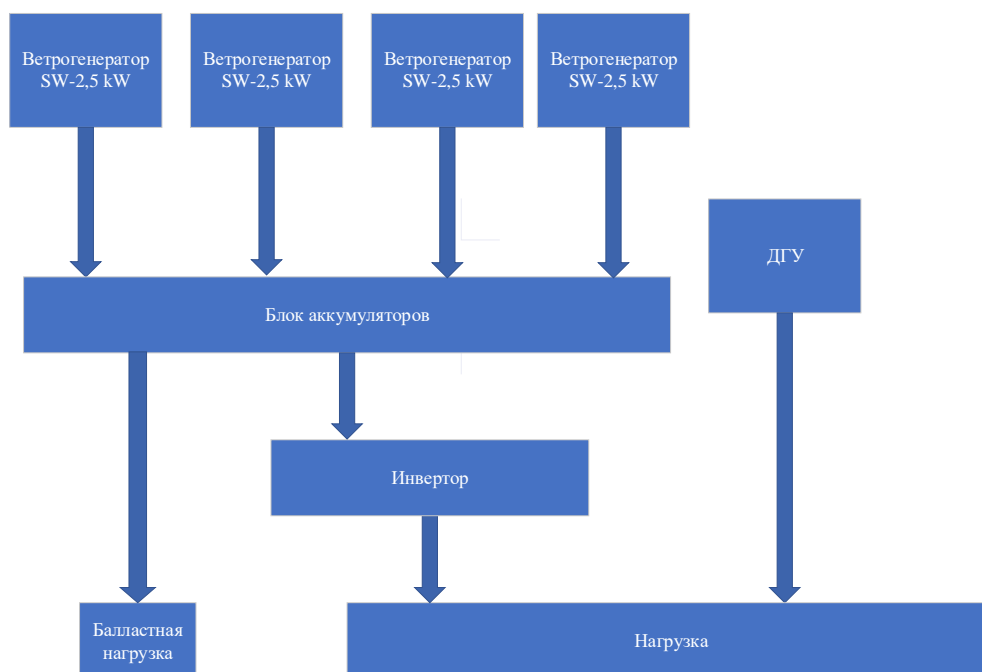


Рисунок 21 – Структура 2

Структура 3

Структура 3 предназначена для конфигурации В, в которой ветрогенераторы не используются, а электроснабжение обеспечивается только от дизель-генератора и резервных источников в соответствии с категорией электроснабжения объекта. В этом случае дизель-генератор работает постоянно, батареи выступают в качестве резервного источника питания на случай выхода из строя первого дизельного генератора и резервного, они обеспечивают время резервного питания 36 часов на время прибытия ремонтной бригады. В данной структуре используется инвертор MAP SIN EX с функцией заряда АБ.

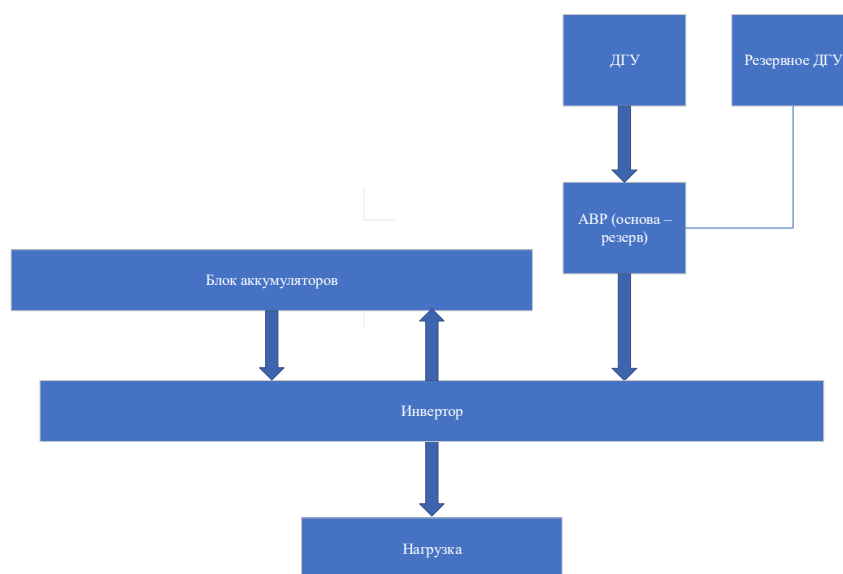


Рисунок 22 – Структура 3

Список оборудования всех конфигураций представлен в Приложении F.

3.5 Вывод главы 3

Техническая часть проекта завершена. Таблица 12 показывает общий объем инвестиций для каждой конфигурации.

Таблица 12 – Итоговые конфигурации

Конфигурация	Капитальные затраты, с НДС (RUB)
Конфигурация А, 1 ветрогенератор, структура 1	1 811 800
Конфигурация А, 2 ветрогенератора, структура 1	2 140 400
Конфигурация А, 3 ветрогенератора, структура 1	2 496 000
Конфигурация А, 4 ветрогенератора, структура 2	2 328 400
Конфигурация А, 5 ветрогенераторов, структура 2	2 612 000
Конфигурация А, 6 ветрогенераторов, структура 2	2 905 600
Конфигурация В, без ветрогенераторов, структура 3	1 454 000

4. Экономический анализ

В этой главе определена экономическая целесообразность реализации спроектированных конфигураций и сравнение их между собой.

Каждый из рассмотренных вариантов имеет свои преимущества и недостатки с технической точки зрения. Проведены расчеты необходимых экономических показателей каждого варианта, а также продемонстрировано, как различные входные параметры и вторичные показатели могут повлиять на конечный результат. Основное допущение – сравнение этих вариантов со стороны инвестора. Инвестор берет на себя все расходы и, в конечном итоге, должен получить как минимум ЧПС = 0 при реализации проекта.

Общеизвестный факт, решения проблемы строительства, электроснабжения и обслуживания объектов, крупные компании доверяют подрядчикам, Роснефть не является исключением.

Допущения:

- Подрядчик выступает в роли инвестора
- Подрядчик предоставляет готовое решение для компании. Также подрядчик позаботится о техническом обслуживании, ремонте, доставке топлива и прочих расхода. Компания будет покупать электроэнергию у подрядчика.
- Первоначальные инвестиции - собственные средства подрядчика.
- Минимальная цена электроэнергии — это цена, установленная инвестором для компании, при которой ЧПС проекта равен 0.
- Срок контракта 20 лет
- Нет фиксированной цены за единицу электроэнергии. Неизвестно, по какой цене компания согласится покупать её. Проекты сравниваются по цене электроснабжения от типовой конфигурации дизеля для подобных автономных объектов (Конфигурация В).

4.1 Методика экономического сравнения

Для реализации проекта необходимо оценить объем инвестиций, сметные расходы и доходы, а также проанализировать проект по основным экономическим критериям:

- Чистая Приведенная Стоимость
- Индекс доходности
- Внутренняя норма доходности

Чистая Приведенная Стоимость

$$ЧПС = \sum_{t=1}^T \frac{ДП_t}{(1+r)^t} - КЗ \quad (28)$$

Где $ДП_t$ - денежный поток за период t ; r - ставка дисконтирования; $KЗ$ – капитальные затраты; t – номер периода; T – срок службы проекта;

ЧПС показывает разницу между приведенной стоимостью притока денежных средств и приведенной стоимостью оттока денежных средств. Однако в текущем проекте денежный поток отсутствует, поэтому ЧПС для каждого возможного будет рассчитываться на основе платы за электроэнергию с учетом ежегодного увеличения тарифов, инфляции и ожидаемой продолжительности жизни проекта. Поскольку расчет ЧПС основан исключительно на затратах, тогда значение для всех рассмотренных мер будет отрицательным, и более высокий ЧПС был бы более желательным вариантом. [49]

Индекс доходности

Индекс прибыльности показывает связь между чистой приведенной стоимостью и инвестициями. Формула для индекса доходности представлена ниже [49]:

$$\text{Индекс доходности} = \frac{\text{ЧПС}}{KЗ} + 1 \quad (29)$$

Проект считается успешным, если индекс доходности больше единицы. Это следует из:

$$\frac{\text{ЧПС}}{KЗ} + 1 = \frac{1}{KЗ} \sum_1^t \left(\frac{ДП_t}{(1+r)^t} \right) - \frac{KЗ}{KЗ} + 1 = \frac{1}{KЗ} \sum_1^t \left(\frac{ДП_t}{(1+r)^t} \right) \quad (30)$$

Внутренняя норма доходности

Внутренняя норма доходности (ВНД) является следующим критерием, с помощью которого проект можно оценить с экономической точки зрения. На самом деле ВНД - это учетная ставка, когда ЧПС проекта равна нулю. ВНД можно рассчитать по следующей формуле [49]:

$$\sum_1^T \frac{ДП_t}{(1+r)^t} - KЗ = 0$$

4.2 Экономические параметры

Для реализации проекта необходимо знать различные экономические параметры страны, в которой будет осуществляться проект (Россия). В этом пункте найден уровень инфляции и ставка налогообложения, а также рассчитана ставка дисконтирования.

Инфляция

Инфляция показывает среднее повышение цен на продукты в стране в течение года. Чтобы оценить инфляцию следующих лет, необходимо проанализировать инфляцию за последние годы. Данные представлены в Таблице 13.

Таблица 13 – Инфляция в России [50]

Год	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Инфляция, %	8,78	6,1	6,58	6,45	11,36	12,91	5,38	2,52	4,27	3,05
Средняя	5,98									

инфляция, %	
-------------	--

Согласно таблице 13, построен график:

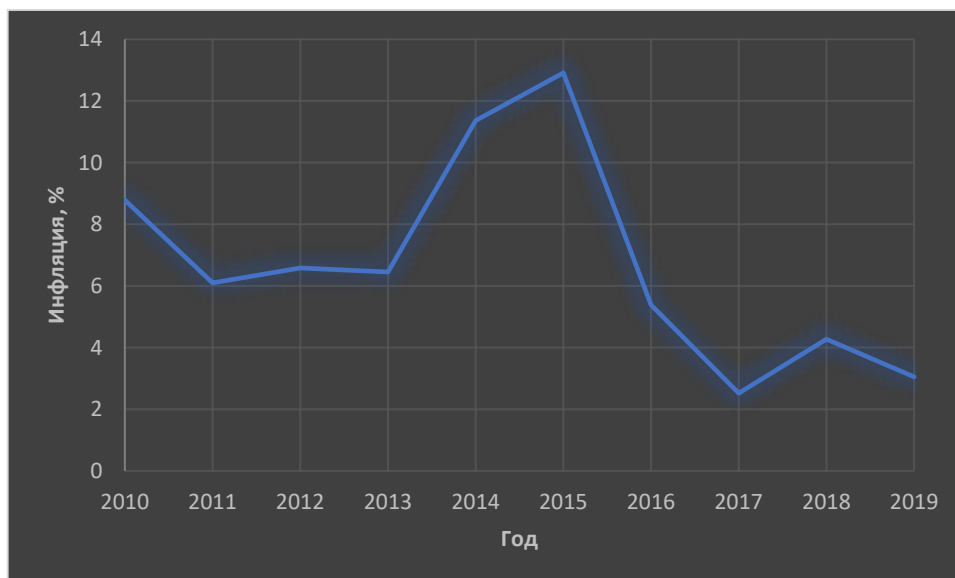


Рисунок 23 – Инфляция в России

Ставка дисконтирования

Для оценки риска проекта необходимо рассчитать ставку дисконтирования. Для расчета ставки дисконтирования я использовал модель ценообразования основных средств:

$$ER_i = R_f + \beta \cdot (MRP - R_f) \quad (32)$$

Где [51]: R_f – безрисковая ставка, равная доходности от государственных облигаций (5,5%); β – показатель волатильности в энергетическом секторе (0,63); MRP – Доходность рынка электроэнергетики (7,5%);

$$ER_i = 5,5\% + 0,63 \cdot (7,5 - 5,5) = 8,65\% \quad (33)$$

Коэффициент эскалации

Цены на товары и услуги растут каждый год. Средняя эскалация может быть взята в соответствии с инфляцией. В этом случае эскалация равна 5,98%.

Налоги

Согласно налоговому законодательству России ставка корпоративного налога равна 20% [51].

Амортизация

В России амортизация может быть рассчитана по накопительному методу. Согласно российскому законодательству, фирма вправе выбрать метод расчета амортизации [51]. Этот тип амортизации можно рассчитать по следующим формулам [49]:

Для первого года:

$$\text{Амортизация} = \frac{KЗ}{T} \quad (34)$$

Для остальных:

$$\text{Амортизация} = KЗ \cdot \frac{2 \cdot (T - t + 1)}{T^2}$$

4.3 Входные параметры для экономической модели

Инвестиции (Капитальные затраты)

Согласно Таблице 12, проекты имеют несколько значений для капитальных затрат. Стоимость монтажа равна 20% от цены оборудования [41]. Результат в таблице 14.

Срок службы проекта - 20 лет, но срок службы батарей - 10 лет. Поэтому в конце 10-го года необходимо покупать новые батареи. И такая же ситуация с дизель-генераторами со сроком службы 40 000 рабочих часов, необходимо учитывать, что в каждой конфигурации различное количество часов работы дизель-генератора. Это учитывается в экономической модели. Эти значения должны быть дисконтированы в соответствии с периодами.

Через 20 лет часть оборудования будет иметь остаточную стоимость за оставшееся время до конца проекта. Поэтому в конце проекта можно продать это оборудование по цене его остаточной стоимости. Этот доход будет учитываться в денежном потоке 20-го года.

Годовые издержки

Топливные издержки

Гибридная электростанция вырабатывает различное количество электроэнергии ветрогенераторами в зависимости от конфигурации, а остальная часть нагрузки покрывается дизельным генератором. Эти объемы будут покрыты дизельным генератором, поэтому расход топлива будет разный (Таблица 10). Ближайшая к объекту топливная база - Антипинский НПЗ. Они осуществляют оптовую доставку. Минимальный заказ: одна тонна. Расстояние от топливной базы до объекта составляет около 500 км. Цена за тонну дизельного топлива составляет 45500 руб. Также необходимо оплатить доставку. Рассмотрим компанию «Трейдер-Ойл», стоимость доставки одной тонны топлива составляет 20 000 рублей. Этот вариант подходит для конфигураций А (1,2,3 WG) и В [52]. Например, годовая стоимость конфигурации В для топлива составляет:

$$\text{Топливо} = 4,47 \cdot (45500 + 20000) = 270435 \text{ RUB} \quad (36)$$

По остальным вариантам мелкий опт будет осуществляться по цене 53000 рублей за тонну с доставкой 25000 рублей [52]. Например, годовая стоимость конфигурации А (4,5,6 WG) для топлива составляет:

$$\text{Топливо} = (0,62 + 0,1) \cdot (53000 + 25000) = 56160 \text{ (37)}$$

Также необходимо учитывать для конфигурации А с ветрогенераторами дополнительные 100 литров дизельного топлива для аварийных ситуаций, которые будут расходоваться в случае поломки ветрогенераторов.

Издержки обслуживания

Цены на обслуживание ветряных и дизельных генераторов представлены в Приложение Е. Гелевые аккумуляторы не обслуживаются и работают на протяжении всего срока службы.

Таблица 14 – Инвестиции и затраты

Конфигурация	Капитальные затраты с НДС (РУБ)	Издержки С НДС (РУБ)
Конфигурация А, 1 ВЭУ, структура 1	1 811 800	242 460
Конфигурация А, 2 ВЭУ, структура 1	2 140 400	176 480
Конфигурация А, 3 ВЭУ, структура 1	2 496 000	126 900
Конфигурация А, 4 ВЭУ, структура 2	2 328 400	111 160
Конфигурация А, 5 ВЭУ, структура 2	2 612 000	86 840
Конфигурация А, 6 ВЭУ, структура 2	2 905 600	82 800
Конфигурация В, без ВЭУ, структура 3	1 454 000	285 435

4.4 Экономическая модель

На этом этапе разработана экономические модели, учитывающие входные параметры, которые были описаны выше. В Приложении Г представлены экономичные модели всех конфигураций при цене продажи электроэнергии 28 руб/кВтч. Это рыночная цена для объектов изолированного электроснабжения, которые не подключены к центральной системе электроснабжения. [53] Но реальная цена всегда зависит от местоположения таких объектов, стоимости топлива, доставки и прочих факторов. Неизвестно, по какой цене компания согласится заключить договор. Результаты расчетов приведены в таблице ниже.

Таблица 15 – Значения критериев при цене 28 РУБ/кВтч

Конфигурация	ЧПС	ИД	ВНД
Конфигурация А, 1 ВЭУ, структура 1	-520 839,89 Р	0,71	4,65%

Конфигурация А, 2 ВЭУ, структура 1	68 724,53 Р	1,03	9,06%
Конфигурация А, 3 ВЭУ, структура 1	453 263,8 Р	1,18	10,96%
Конфигурация А, 4 ВЭУ, структура 2	852 457,87 Р	1,37	12,9%
Конфигурация А, 5 ВЭУ, структура 2	884 061,94 Р	1,34	12,6%
Конфигурация А, 6 ВЭУ, структура 2	627 580,25 Р	1,22	11,26%
Конфигурация В, без ВЭУ, структура 3	-997 250, 45 Р	0,31	-

Как видно из таблицы 15, наилучшим вариантом является конфигурация А с 4 ветрогенераторами конструкции 1. Необходимо найти минимальные цены за единицу для каждой конфигурации, при которых ЧПС проекта будет нулевым. Результаты приведены в таблице 16

Таблица 16 – Цена за электроэнергию

Конфигурация	Цена (РУБ/кВтч)
Конфигурация А, 1 ВЭУ, структура 1	31,34
Конфигурация А, 2 ВЭУ, структура 1	27,56
Конфигурация А, 3 ВЭУ, структура 1	25,19
Конфигурация А, 4 ВЭУ, структура 2	22,33
Конфигурация А, 5 ВЭУ, структура 2	22,53
Конфигурация А, 6 ВЭУ, структура 2	23,9
Конфигурация В, без ВЭУ, структура 3	34,4

Как видно из таблицы 16, самой низкой ценой является конфигурация А (4 WG). Для лучшего понимания необходимо проанализировать чувствительность зависимости ЧПС и цены за электроэнергию. Это показано на рисунке 24.

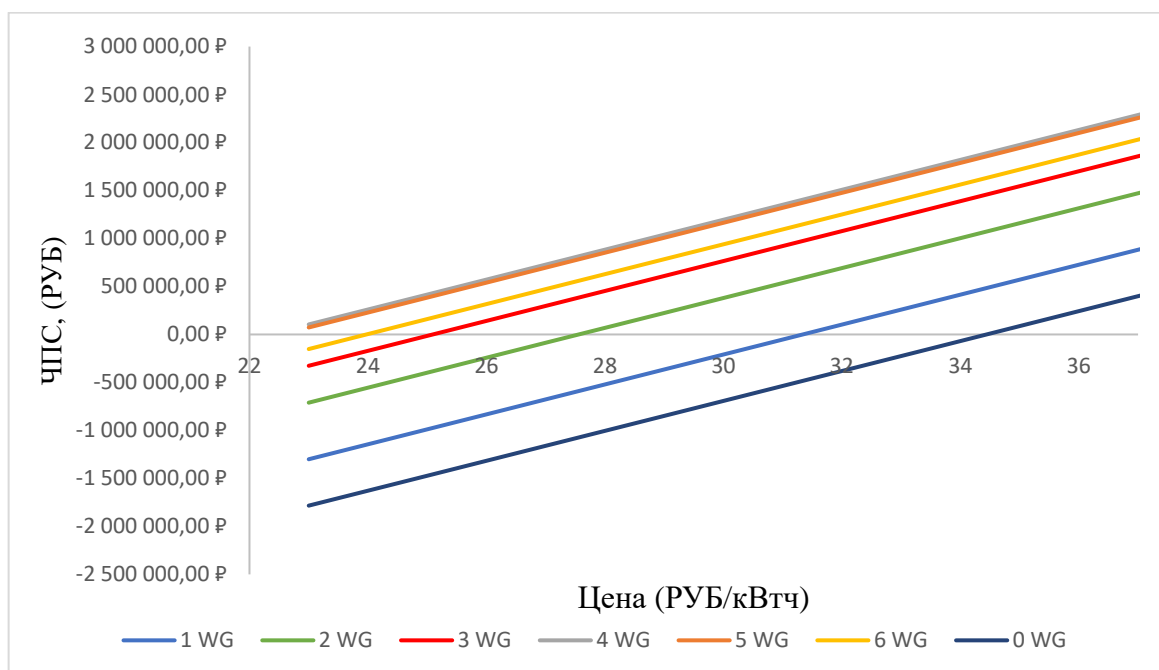


Рисунок 24 – Зависимость ЧПС от цены за единицу электроэнергии для потребителя

4.5 Анализ чувствительности

Анализ чувствительности проекта может показать, как различные параметры влияют на ЧПС. После анализа чувствительности можно сделать выводы, какие факторы в большей или меньшей степени влияют на ЧПС. В анализе чувствительности используется цена, равная 28 руб. / кВтч.

Список параметров, которые будут учитываться при анализе чувствительности NPV:

- Ставка дисконтирования
- Эскалация
- Цены ДГУ
- Цену ВЭУ
- Стоимость топлива

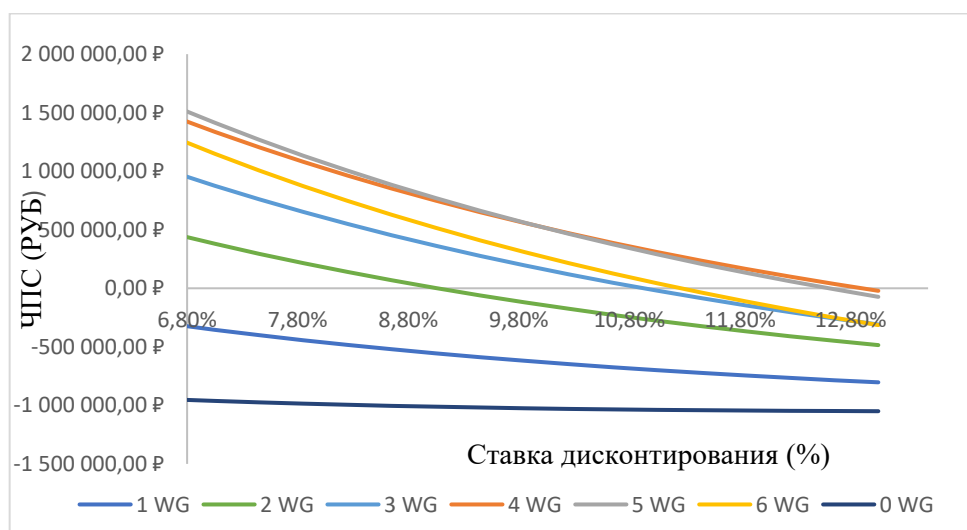


Рисунок 25 – Зависимость ставки дисконтирования от ЧПС

График на рисунке 25 имеет экспоненциальную характеристику для каждой конфигурации. Чем больше учетная ставка, тем меньше ЧПС. Следует отметить, что для цены за единицу электроэнергии в размере 28 руб/кВтч нет положительных значений ставки дисконтирования для конфигурации В.

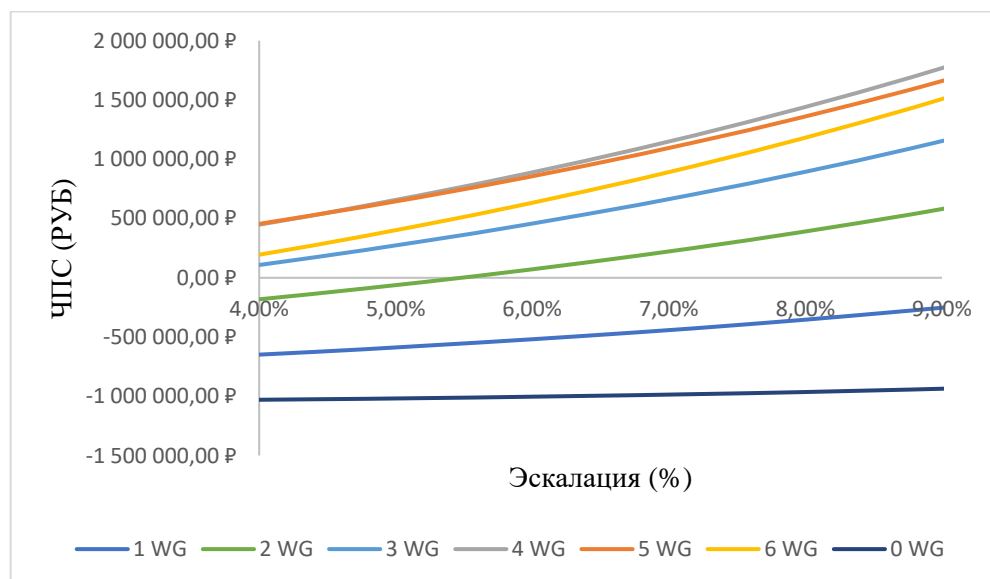


Рисунок 26 - Зависимость эскалации от ЧПС

Зависимости на рисунке 26 имеют экспоненциальный характер.

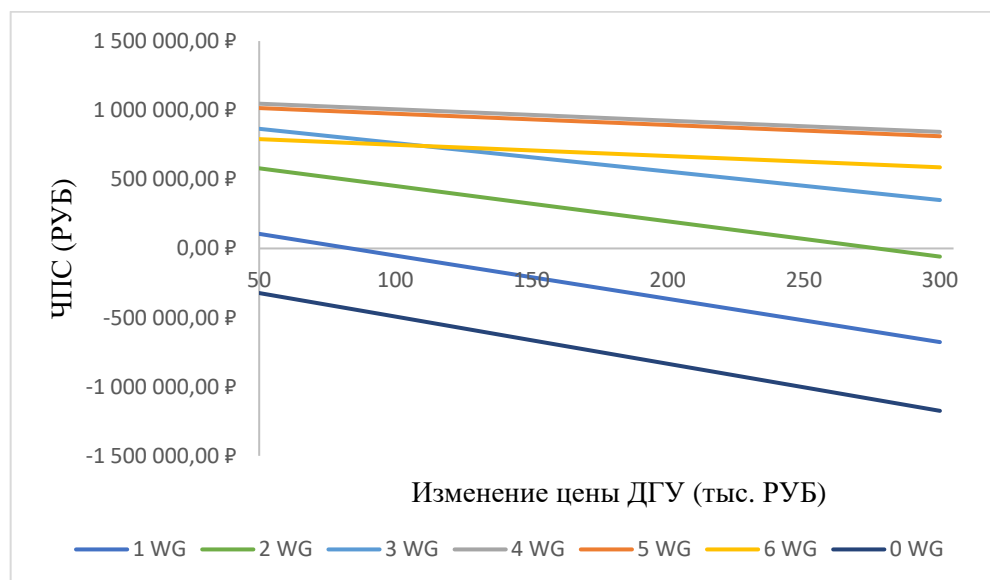


Рисунок 27 - Зависимость изменения цены ДГУ от ЧПС

Как видно из рисунка 27, изменение цены дизель-генератора имеет линейную зависимость от ЧПС во всех конфигурациях. Чем выше цена дизель-генераторов, тем ниже ЧПС каждой конфигурации. Эта зависимость существует, потому что в каждой конфигурации установлен один резервный дизель-генератор, и его стоимость учитывается в капитальных затратах.

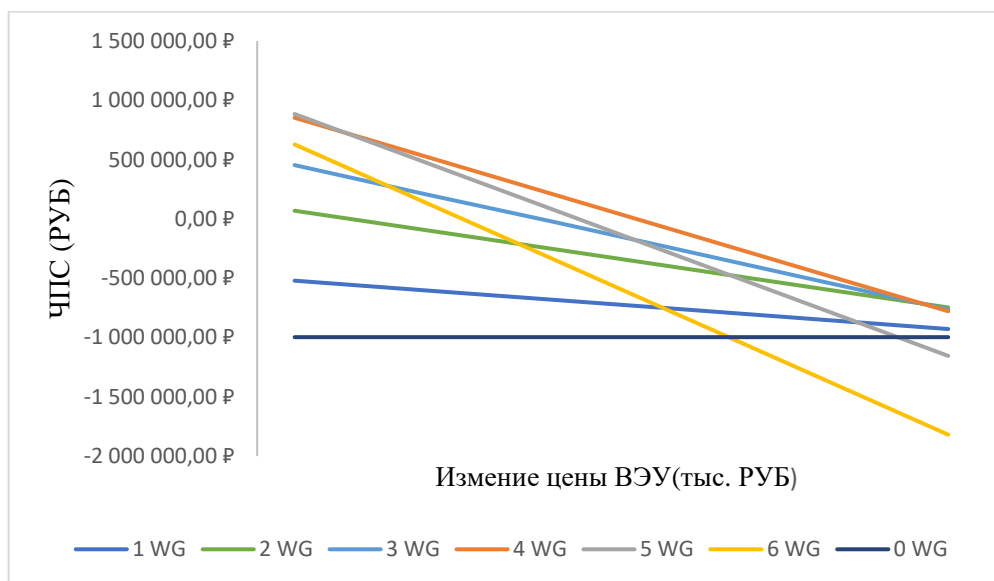


Рисунок 28 - Зависимость изменения цены ВЭУ от ЧПС

Как видно из рисунка 28, изменение цены ветрогенератора имеет линейную зависимость от ЧПС всех конфигураций. Чем выше цена ветрогенераторов, тем ниже ЧПС конфигураций с ветрогенераторами.

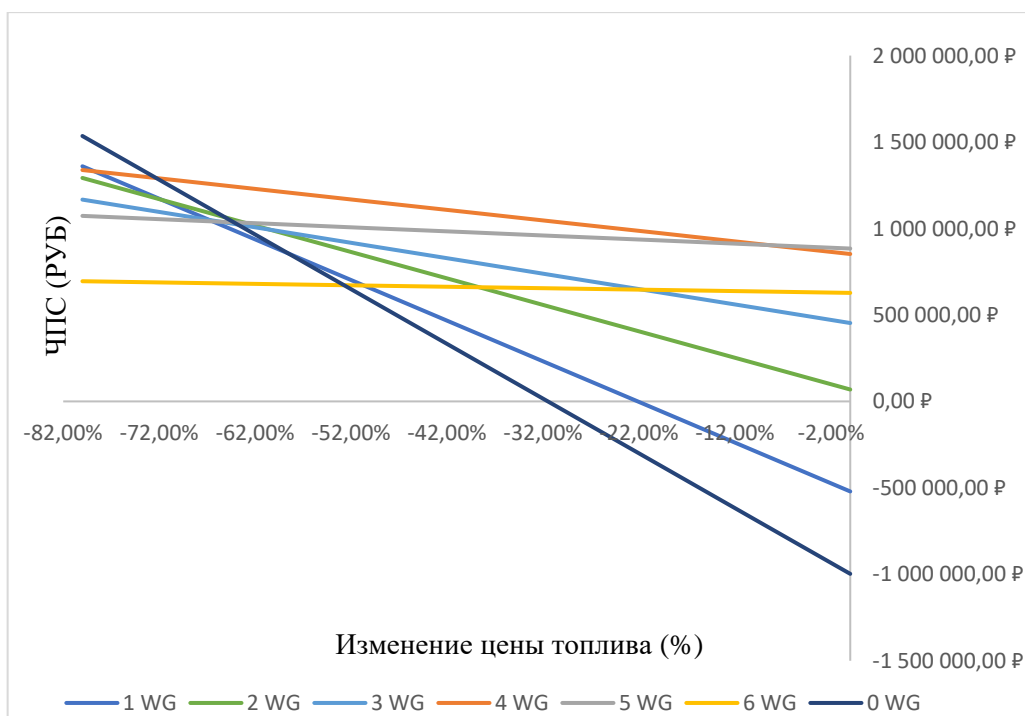


Рисунок 29 – Зависимость изменения цены топлива от ЧПС

График на рисунке 29 имеет линейную характеристику. При удельной цене на электроэнергию 28 РУБ/ кВтч, ЧПС конфигурации В будет выше, чем у остальных, только при снижении цен на топливо примерно на 70%. Это связано с сильной удаленностью объекта от центральной инфраструктуры, а затраты на топливо очень высоки при эксплуатации таких автономных объектов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате работы, был изучен опыт применения возобновляемых источников энергии для электроснабжения объектов нефтяной и газовой промышленности, удаленных от центрального электроснабжения. Обычно в России в таких регионах потребители снабжаются дизельными электростанциями в большинстве случаев. Однако это дорого, есть вредные для окружающей среды выбросы углерода и могут быть перебои в доставке дизельного топлива. В этой работе продемонстрировано, как интеграция возобновляемого источника энергии снижает затраты на топливо и выбросы углерода. Также подобные решения положительно влияют на уровень надежности энергокомплекса.

Разработан состав гибридной электростанции на основе ДГУ. При проектировании энергокомплекса для таких объектов необходимо классифицировать потребителя в соответствии с требованиями к качеству напряжения и надежности источника электроснабжения. Эта классификация позволяет определить типы потребителей, для которых использование возобновляемых источников энергии является наиболее подходящим, а также дополнительные меры по улучшению качества электроснабжения. Большинство потребителей магистральных газопроводов расположены в труднодоступных местах, вдали от централизованного электрооснабжения. Необходимо устанавливать дополнительное оборудование, системы управления для обеспечения стабильной работы автономной гибридной электростанции и производить оптимизацию состава основного оборудования.

Исходные данные энергопотребления взяты из технического задания компании. Изучена местность расположения рассматриваемого объекта и произведена оценка потенциала ветра и солнечной энергии. Было принято решение использовать ветрогенераторы, так как солнечный потенциал в этом регионе невысок. После выбора моделей ветрогенераторов по критерию КИУМ к установке приняты ветрогенераторы модели SW-2,5 кВт. С учетом всех факторов, разработаны конфигурации гибридной электростанции для реального строящегося объекта Роснефти.

Проанализированы шесть конфигураций с ветро-дизельным источником питания и одна дизельная конфигурация. Они различаются по количеству генераторных установок, оборудованию и типу структур. Проведена экономическая оценка конфигураций. Оценены затраты и инвестиции в конфигурации и на основе этих данных рассчитаны минимальные цены на единицу электроэнергии для каждой конфигурации. Наилучшим вариантом является конфигурация А (4 ВЭУ), структура 2. Минимальная цена за единицу электроэнергии составляет 22 РУБ /кВтч. ЧПС этого проекта составит (при продаже электроэнергии компании по цене 28 РУБ /кВтч) 852457,87 руб. Подобный проект будет более чем рентабельным. Также найдена минимальная цена и ЧПС конфигурации В, где в работе только ДГУ. Её минимальная цена составляет 34,4 РУБ/кВтч, а его ЧПС составляет -997 250,45 руб. По цене продажи 28 РУБ/ кВтч. Также произведен анализ чувствительности ЧПС проекта. Графики на рисунках 25-29 показывают, как ЧПС зависит от ставки дисконтирования, эскалации, изменения стоимости ДГУ, изменения цены ВЭУ, изменения цены на дизельное топливо.

Список литературы:

- [1] О.А. Туровин, Е.Н. Огнев, А.Е. Кочнев Альтернативные источники электроснабжения нефтяных объектов компании, 2017, № 1, с. 2 (4), с. 69-74. Доступно по адресу: https://ntc.gazprom-neft.ru/upload/uf/8e3/binder-gpn2_2017.pdf#page=71 [Доступ: 15 октября 2019 г.]
- [2] Единая система газоснабжения России [онлайн] Официальный сайт Газпрома Доступно по адресу: <http://www.gazprom.ru/about/production/transproduction> [Доступ 16 октября 2019 года]
- [3] Меньшов Б.Г. Электротехнические установки и комплексы в нефтегазовой промышленности: Учебник для вузов. 2000. - 437 с.
- [4] Белоусенко Ю.В., Шварц Г.Р. и другие. Новые технологии и современное оборудование в электроэнергетике нефтегазовой промышленности 2007. - 478 с.
- [5] Стандарт компании «Газпром» 2-6.2-1028-2015. Категория электроприемников промышленных объектов ПАО «Газпром» доступна по адресу: <http://gasoproekt.ru/item/792-cto-gazprom-2-62-1028-2015-kategorijnost-ehlectropriemnikov-promyshlennyh-obektov-pao-gazprom> [Доступ: 20 октября, 2019]
- [6] ГОСТ 32144-2013. Электроэнергия. Аппаратная совместимость. Стандарты качества электроэнергии в общих системах электроснабжения
- [7] А.А. Сивков Д.Ю. Герасимов А.С. Сайгаш Основы электроснабжения: учебное пособие Томского политехнического университета. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. - 180 с.
- [8] Artur Sibgatullin, Vladimir Tolmachev. Justification of the Parameters of RES Based Energy Complexes for Trunk Gas Pipeline Consumers // Proceedings 2018 International Ural Conference on Green Energy (UralCon). – 2018. – 114 pp.
- [9] Шварц Г.Р. и другие. Возможности использования чистых источников энергии в нефтегазовой промышленности 2010. - 238 с.
- [10] Wind turbine specifications AIR-X. Адрес: https://www.solarhome.ru/wind/uni-air_x.htm [Доступ: 22 ноября, 2019]
- [11] Wind turbine specifications AIR breeze. Адрес: https://www.solarhome.ru/wind/air_breeze.htm [Доступ: 22 ноября, 2019]
- [12] Wind turbines Whisper. Description. Experience of use. Адрес: <https://msk.manblan.ru/catalog/alternativeenergy/windgenerators/whisper/> [Доступ: 22 ноября, 2019]
- [13] Wind turbines Breeze-5000. Description. Experience of use. Адрес: http://www.eti.su/elteh/elmachine/powerstation/powerstation_926.html [Доступ: 22 ноября, 2019]
- [14] Experience of implementation of the project of a wind diesel power plant with the installed capacity of 1 MW in the Arctic version for power supply of the residential settlement of Amdarma. Адрес: https://www.peipk.org/files/seminar/gesan_ge_amderma.pdf [Accessed: 23 ноября, 2019]
- [15] Правила электромонтажных работ (редакция 7-я) (утверждены приказом Минэнерго России от 08.07.2002 № 204)
- [16] СТО Газпром 2-2.1-372-2009. Энергетический сектор ОАО «Газпром». АСУ ТП электростанций ОАО «Газпром». Технические требования.

- [17] ГОСТ 721-77. Системы электроснабжения, сети, источники, преобразователи и приемники электрической энергии. Номинальное напряжение свыше 1000 В (с изменениями № 1, 2, 3).
- [18] ГОСТ 21128-83. Системы электроснабжения, сети, источники, преобразователи и приемники электрической энергии. Номинальное напряжение до 1000 В (с Изменением № 1).
- [19] СТО Газпром 2-1.11-661-2012. Устройства цифровой релейной защиты и автоматики для систем электроснабжения. Технические требования.
- [20] ГОСТ 30336-95 (МЭК 1000-4-9-93) / ГОСТ Р 50649-94 (МЭК 1000-4-9-93). Совместимость технических средств электромагнитная. Сопротивление импульсному магнитному полю. Технические требования и методы испытаний.
- [21] ГОСТ Р 50648-94 (МЭК 1000-4-8-93). Совместимость технических средств электромагнитная. Сопротивление магнитному полю промышленной частоты. Технические требования и методы испытаний.
- [22] SP 52.13330.2011. Natural and artificial lighting (updated edition of SNIP 23-05-95).
- [23] ГОСТ 12.1.010-76. ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования (с поправкой № 1).
- [24] ГОСТ 17516.1-90. Электротехнические изделия. Общие требования в отношении устойчивости к механическим внешним воздействующим факторам (с Модификацией № 1).
- [25] ГОСТ 15543.1-89. Электротехнические изделия. Общие требования по устойчивости к климатическим внешним факторам.
- [26] ГОСТ 14254-96 (МЭК 529-89). Степени защиты, обеспечиваемые снарядами.
- [27] НПБ 88-2001. Системы пожаротушения и сигнализации. Стандарты и правила проектирования (с Модификацией № 1).
- [28] СП 5.13130.2009. Противопожарные системы. Системы пожарной сигнализации и пожаротушения являются автоматическими. Стандарты и правила проектирования (Модификация № 1).
- [29] Постановление Правительства Российской Федерации от 17.03.2009 № 241 (изд. От 09.08.2016 г.) Об утверждении перечня товаров, подлежащих помещению под таможенные режимы, предусматривающих возможность отчуждения или использования Данная продукция в соответствии с ее назначением в Российской Федерации подлежит обязательному подтверждению соответствия требованиям Федерального закона «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».
- [30] ГОСТ 15150-69. Машины, приборы и другие технические изделия. Версии для разных климатических регионов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортировки с учетом факторов окружающей среды (с изменениями № 1, 2, 3, 4, 5).
- [31] Excerpt from renewables information (2015 edition) // Official site of International Energy Agency. Available at: <http://www.iea.org/statistics/topics/renewables/> [Accessed: 2.12.2019]
- [32] Elistratov V.V., Aronova E.S. Modeling and optimization of parameters of autonomous power supply systems based on renewable energy sources // News of the Academy of Sciences. Energy 2011. No. 1. P. 119-127

- [33] Елистратов В.В. Возобновляемая энергетика. Издание 2-е добавление - Санкт-Петербург: Наука 2013 - 308 с.
- [34] Information about Block Valve Station // Article about gas pipelines. Адрес: <https://sila-sibiri-rabota.ru/kranovyi-uzel/> [Доступ: 3.01.2020]
- [35] Узлы запорной арматуры // Официальный сайт компании Газстройинновация. Доступно по адресу: <http://g-s-i.ru/pr1.html> [Доступ: 3.01.2020]
- [36] Описание климата. Адрес: <http://www.meteo-tv.ru/rossiya/hanty-mansiiskii-avtonomnyi-okrug/hanty-mansiisk-weather/climate/> [Доступ: 4.02.2020]
- [37] Pipeline map of Khanty mansiyskiy avtonomnyy okrug for 2019 Aviable at: <https://www.gazprom.ru/press/news/2020/january/article498786/> [Доступ: 6.02.2020]
- [38] Google maps [Доступ: 7.02.2020]
- [39] Nasa Database. Aviable at: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/> [Доступ: 8.02.2020]
- [40] Милевский В.Ю. Методика исследования скоростных роз и скоростей ветровых роз - диаграмма ветра - ветровые диаграммы: Гидрометеиздат, 1960. С.57-70
- [41] Лукутин Б.В., Муравлев И.О., Плотников И.А. Системы электроснабжения с ветровыми и солнечными электростанциями. Томск: Томский политехнический университет, 2015.
- [42] Толмачев В.Н., Орлов А.В., Булат В.А. Эффективное использование энергии ветра в системе автономного энергообеспечения / ВИТУ - СПб., 2002. - 203 с.
- [43] Зубарев В.В., Минин В.А., Степанов И.Р. Использование энергии ветра в открытии Севера: Состояние, условия эффективности, перспективы, 1989. 208 с.
- [44] BWC Excel 10 Technical Data Sheet. Адрес: <https://en.wind-turbine-models.com/turbines/501-bergey-bwc-excel-10> [Доступ: 20.02.2020]
- [45] Виссарионов В.И., Дерюгина Г.В., Кузнецова В.А., Малинин Н.К. Солнечная энергетика: Учебное пособие для вузов, 2008. - 276 с.
- [46] DG Technical Data Sheet. Адрес: <https://generatorvdom.ru/shop/product/dizelnyi-generator-genbox-kbt11mkopiia> [Доступ: 25.02.2020]
- [47] Diesel fuel price statistics in the Nefteyugansk. Адрес: https://www.petrolplus.ru/fuelindex/khanty-mansi_autonomous_ambient/ [Доступ: 1.03.2020]
- [48] AB Technical Data Sheet. Адрес: <http://energywind.ru/katalog/gel-akkumulyator/akkumulyator-gel-multi-brand-12v-200a#tab1> [Доступ: 11.03.2020]
- [49] Brealey, R.A., Myers, S.C., Allen, F. Principles of Corporate Finance, McGraw-Hill/Irwin, 11 edition (January 15, 2013)
- [50] Inflation in Russian Federation. Historical date. Адрес: <https://www.statbureau.org/ru/russia/inflation-tables> [Доступ: 15.04.2020]

- [51] Bank of Russian Federation rates and main information. Official website. Адрес: https://cbr.ru/hd_base/keyrate/ [Доступ: 19.04.2020]
- [52] Trader-oil, delivery of oil products. Official website. Адрес: <https://www.trader-oil.ru/dostavka> [Доступ: 20.04.2020]
- [53] Тарифы на электроэнергию в России. Адрес: <https://energybase.ru/tariff/electricity/2019> [Доступ: 23.04.2020]
- [54] Арзамасцев Д.А., Липес А.В., Мызин А.Л. Модели оптимизации развития энергосистем. – М.: Высш. шк., 1987. - 272
- [55] Лаврик А.Ю, Жуковский Ю.Л, Максимов Н.А, Определение оптимального состава резервируемой гибридной ветро-солнечной электростанции – Санкт – Петербургский горный университет, 2019 – 53
- [56] Лаврик А.Ю, Жуковский Ю.Л., Булдыско А.Д Особенности выбора оптимального состава ветро-солнечной электростанции с дизельными генераторами - Санкт – Петербургский горный университет, 2020 – 17
- [57] Asgher U., Ruiz J.A, Ali S. - Mathematical Modeling and Optimization of Downdraft Gasifiers Using Artificial Neural Networks (ANN) and Stochastic Programming Techniques – SMME – Pakistan, 2020 - 38

5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В технической части магистерской диссертации было проведено проектирование гибридной электростанции для электроснабжения автономных объектов.

Данный исследовательский проект имеет большую перспективу, так как при удовлетворительном результате разработанная методика может быть применена на реальных объектах.

Актуальность разработки заключается в том, что отрасль нуждается в новых методах электроснабжения изолированных от центральной энергосистемы объектов. Использование гибридной электростанции в качестве основного источника электроснабжения открывает новые возможности в данной области и снижает затраты на электричество.

Целью данного раздела является определение перспективности и успешности научно-исследовательского проекта. Достижение цели обеспечивается решением задач по организации работ по научно-исследовательскому проекту, планирование научно-исследовательских работ, оценки научно-технического уровня работ, определение ресурсной (ресурсосберегающей), бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

5.1 Предпроектный анализ

5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для того чтобы проанализировать потенциальных потребителей, которых заинтересуют результаты исследования, необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Разрабатываемый продукт ориентирован на коммерческие организации, для которых критериями сегментирования могут быть: месторасположение; отрасль; выпускаемая продукция; размер компании. Наиболее значимые для рынка критерии – отрасль и размер компании. Для сегментирования рынка составим карту сегментирования, которая представлена на рис. 4.1. ДГУ – дизельная генераторная установка, ЛЭП – линии электропередач, ВЭУ – ветроэнергетическая установка, ФЭМ – фотоэлектрический модуль.

		Отрасль			
		Электроснабжение от ДГУ	Электроснабжения от ЛЭП	Электроснабжение от ВЭУ	Электроснабжение от ФЭМ
Размер компании	Крупные				
	Средние				
	Мелкие				

Рисунок 4.1 – Карта сегментирования рынка

– ООО «Востокбуровод»; – С «Альта»; – «Лукойл» – ПАО «Рос»; – ПАО «Газпром».

В приведенной карте сегментирования рынка показано, какие отрасли являются наиболее привлекательными для продукта, разрабатываемого в рамках научно-исследовательской работы. Наиболее перспективной отраслью являются электроснабжения от фотоэлектрических модулей и от ветроэнергетических установок: «Лукойл», ПАО «Роснефть», ПАО «Газпром».

5.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении, развитии. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим конкурентам.

Для осуществления такого анализа необходимо использовать всю имеющуюся информацию о конкуренте:

- технические характеристики разработки;
- конкурентноспособность разработки;
- уровень завершенности научного исследования (наличие макета, прототипа и т.п.);
- бюджет разработки;
- уровень проникновения в рынок;
- финансовое положение конкурентов, тенденции его изменения.

Анализ конкурентных решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения. Целесообразно проводить анализ с помощью оценочной карты, для чего необходимо отобрать несколько конкурентных товаров и разработок.

Таблица 5.1 – Оценочная карта сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентно способность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности	0,15	5	3	3	0,75	0,45	0,45
2. Удобство в эксплуатации	0,15	3	4	4	0,45	0,6	0,6
3. Энергоэкономичность	0,1	2	3	3	0,2	0,3	0,3
4. Надежность	0,15	4	3	2	0,6	0,45	0,45
5. Безопасность	0,15	4	4	3	0,6	0,6	0,45
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,1	2	4	4	0,2	0,4	0,4
2. Цена	0,1	4	4	4	0,4	0,4	0,4
3. Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	5	3	4	0,5	0,3	0,4
Итого	1	29	28	27	3,7	3,5	3,45

Б_ф – Электроснабжение от возобновляемых источников энергии; Б_{к1,2} – традиционные источники электроснабжения. К_ф – электроснабжение от модифицированных источников К_{к1} – Электроснабжение от установок ОРМАТ, К_{к2} – электроснабжение от газотурбинных установок

В виду того, что в России и мире подавляющее большинство профильных компаний занимаются электроснабжением децентрализованных объектов от традиционных источников, установок ОРМАТ (ОРМАТ – название технологии, при которых для выработки электроэнергии используется поток газа, проходящего через транспортные газопроводы), газотурбинных установок, в роли потенциальных конкурентов выступают:

1. АО «ГТ Энерго» — генерирующая компания, специализирующаяся на разработке, строительстве «под ключ» и эксплуатации газотурбинных ТЭЦ собственного производства. Электроснабжение газотурбинными установки

2. Нижновэнерго — распределительная сетевая компания, осуществляющая передачу электроэнергии по электрическим сетям и технологическое присоединение потребителей к электросетям. Использование энергоустановок ОРМАТ

3. Компания "Россети Юг" — российская энергетическая компания, осуществляющая деятельность по передаче электроэнергии по электрическим сетям напряжением 110 кВ — 0,4 кВ, а также технологическому присоединению потребителей к электросетям

4. Ленэнерго российская распределительная сетевая компания.

На данный момент электроснабжение от ВИЭ, в том числе с участием российских организаций, проводятся в Германии, Франции, Корее, Швейцарии, Чили, Китае и др. В Германию, Францию, Великобританию были поставлены децентрализованные установки для снабжения маломощных объектов (разработка НИИ ВН при ТПУ, г. Томск). В ранее опубликованной в Интернете статье «Автономному дому – свою микро-ТЭЦ» показан пример энергоснабжения «малых» объектов с помощью единой энергоустановки – микро-ТЭЦ (ТЭЦ – теплоэлектроцентраль), работающей по гибридной схеме от возобновляемых энергоисточников. Приводом электрогенератора в ней является паротурбинный блок. Однако позднее для подобных целей был специально разработан твердотельный безроторный тепломеханический преобразователь (ТМП) с рекуперацией тепловой энергии. Конструкция его предельно простая. К тому же, он может работать и при температуре в теплоаккумуляторе ниже 100°C, что значительно расширяет временной интервал использования теплоаккумулятора без пополнения его энергоресурса. Ниже мы подробно остановимся на конструкции этого ТМП. А теперь же отметим, что разговор в этой статье касался комплексного автономного энергоснабжения только небольших объектов. А вот теперь – с появлением нового изобретения (патент РФ № 2643877, 2018 г.) – можно продолжить его уже в несколько расширенном плане. Если взять, например, небольшое поселение, садовое общество, аграрный комплекс, некрупный производственный объект, то масштабы потребления энергии будут во много раз больше по сравнению с мощностью рассмотренной микро- ТЭЦ. Но и такую потребность при стабильном энергоснабжении можно удовлетворить с помощью представленной мини-ТЭЦ с сезонным теплоаккумулятором, работающей на возобновляемых источниках энергии (ВИЭ), самыми доступными из которых являются солнце, ветер, горные реки. Касаясь проблемы обеспечения бесперебойности энергоснабжения потребителей, следует сказать, что непостоянство источников энергии относится

не только к солнечной радиации и ветровому потоку, но и к стоку горных рек, создание на которых маломощных бесплотинных ГЭС является вполне посильным даже для небольшого сообщества потребителей энергии. При возрастающих в наше время темпах освоения возобновляемых энергоисточников использование относительно мощных энергоустановок с учётом непостоянства этих источников сопряжено в основном с двумя проблемами: отсутствием разработанных образцов недорогих энергоёмких (сезонных) тепловых аккумуляторов (ТА) и мощных тепломеханических преобразователей (ТМП) для привода электрогенератора, рассчитанных на использование более низкой температуры рабочего тела, чем в традиционных паровых машинах. Что касается первой проблемы, то в настоящее время уже есть примеры мощных тепло-аккумуляторов. В известном, например, ТА солнечной установки на 10 МВт в г. Барстоу (США) аккумулирующий резервуар сделан в виде цилиндрического сосуда объемом 3058 куб. м, аккумулирующая среда создана из гранитной щебенки массой 6100 т, в качестве теплоносителя используется масло в объеме 712 куб. м. Сосуд аккумулятора заряжается острым паром при температуре 510 °С, которая при этом снижается до 348 °С. В режиме разрядки питательная вода с температурой 127 °С поступает в разрядный теплообменник, где образуется слегка перегретый пар, имеющий температуру 277 °С и давление 2,7 Мпа, который направляется к турбине. Описанный ТА с указанной энергоёмкостью при таком отборе тепла все-таки не может работать в режиме сезонного аккумулятора, а стоимость его очень высокая. Известны аккумуляторы солнечной энергии, резервуаром в которых является полость в скальных породах, содержащая до 100 тыс. куб. м воды имеющая кольцевую форму и не теплоизолированная. Прилежащие в полости слои скальной породы принимают участие в тепловом аккумулировании энергии. Сдерживающим фактором в широком освоении таких ТА являются их высокая стоимость, а также ограниченность распространения пригодных для них геологических формаций. Концепция в создании недорогих сезонных теплоаккумуляторов с энергоресурсом, достаточным для обеспечения бесперебойной работы упомянутой мини-ТЭЦ при самых неблагоприятных погодных условиях, основана на использовании естественного грунта в качестве теплоаккумулирующей среды. Метод расчёта грунтового ТА с «открытым дном» изложен в Интернете², где рассмотрен тепловой аккумулятор объёмом, равным площади занимаемого им участка, умноженной на усреднённую глубину воздухопроницаемого пласта до подстилающих водоупорных пород. Другая проблема состоит в том, что для работы известных паровых турбин, где рабочим телом служит вода, требуется высокая температура, которую не просто получить от ВИЭ, а тем более — сохранить длительное время в теплоаккумуляторах. В нашей мини-ТЭЦ привод электрогенератора может работать при температуре рабочего тела ниже 100 °С, что решает указанную проблему. Из всех известных тепломеханических преобразователей такого класса в эту мини-ТЭЦ, как и в ранее рассмотренную микро-ТЭЦ, наилучшим образом вписываются упомянутые выше безроторные ТМП. Что касается первичных преобразователей возобновляемых энергоресурсов, то в качестве солнечных коллекторов можно использовать очень эффективный коллектор-приёмник оптического излучения (патент РФ № 2269726, 2006.), солнечный

самонаводящийся коллектор-нагнетатель (патент РФ № 2535193, 2014.), солнечный нагреватель с защитой от атмосферных осадков (патент РФ № 2569423, 2015.), многозеркальная гелиоустановка с общим приводом системы ориентации (патент РФ № 2661169, 2018.) и другие солнечные нагреватели с давлением нагретого воздуха, достаточным для прокачки через сухой грунт тепло аккумулятора. Ветро- и гидротурбины должны быть оснащены компрессорами, работающими так же в замкнутом контуре. Кстати, в этом плане есть принципиально новые технические решения, как, например, вихревая гидротурбина (патент РФ № 2659837, 2018.), а также конвейерная ветроустановка (патент РФ № 2667860, 2018.). Важным отличием их компрессоров является отсутствие охлаждающего обребрения и обдува. Более того, они имеют хорошую «адиабатную» теплоизоляцию, чтобы всё создаваемое ими тепло сбрасывалось воздушным потоком в теплоаккумулятор. Далее рассмотрим устройство всего сооружения. Участок под теплоаккумулятор следует выбрать на ровной местности с залегающими на приемлемой глубине водоупорными пластами. Теплоаккумулирующий грунт в просушенном виде должен быть воздухопроницаемым. Особых требований к его экологичности не предъявляется, поскольку циркуляция теплоносителя происходит в замкнутых контурах.

5.1.3 FAST-анализ

Выбор объекта FAST- анализа

В рамках магистерской диссертации в качестве объекта FAST-анализа выступает объект исследования, а именно – электроснабжение газотранспортных объектов от ВИЭ.

Описание главной, основных и вспомогательных функций, выполняемых объектом.

Главной функцией данной разработки является увеличение надежности электроснабжения, которые способны поддерживать производственный цикл в различных агрессивных условиях.

Внутренней функцией является реализация процесса выработки специальной установкой (солнечными панелями или ВИЭ) электроэнергии для бесперебойного электроснабжения.

Таблица 5.2 – Классификация функций, выполняемых объектом исследования

Наименование процесса	Выполняемая функция	Ранг функции		
		Главная	Основная	Вспомогательная
Электроснабжение от ВЭУ	Обеспечивает подачу электроэнергии потребителю	X		
Подача электроэнергии от солнечных панелей	Позволяет уменьшить траты на аккумуляторы и сохраняет электроснабжение более стабильным		X	

Продолжение таблицы 5.2

Запасание электроэнергии в аккумуляторах	Обеспечивает бесперебойность электроснабжение в ночные часы или при аварийных ситуациях			X
--	---	--	--	---

Определение значимости выполняемых функций объектом. Для оценки значимости функций будем использовать метод расстановки приоритетов. В таблице 5.4 представлена матрица смежности функций.

Таблица 5.3 – Матрица смежности функций

	Поддержание допустимого уровня отклонения напряжения	Поддержание частоты напряжения	Ограничение падения напряжения
Электроснабжение от ВЭУ	<	<	<
Подача электроэнергии от солнечных панелей	=	=	<
Запасание электроэнергии в аккумуляторах	>	=	<

«<» - менее значимая функция; «>» - более значимая функция; «=» - одинаковые по значимости функции. Далее преобразуем матрицу смежности в матрицу количественных соотношений функций (таблица 5.4)

Таблица 5.4 – Матрица количественных соотношений функций

	Поддержание допустимого уровня отклонения напряжения	Поддержание частоты напряжения	Ограничение падения напряжения	ИТОГО
1) Электроснабжение от ВЭУ	0,5	0,5	0,5	1,5
2) Подача электроэнергии от солнечных панелей	1	1	0,5	2,5
3) Запасание электроэнергии в аккумуляторах	1,5	1	0,5	3
				$\Sigma=7$

Затем определим значимость функций путем деления балла, полученного по каждой функции, на общую сумму баллов по всем функциям. Так, для функции 1 относительная значимость равна $1,5/7=0,21$; для функции 2 относительная значимость равна $2,5/7=0,36$; для функции 3 относительная значимость равна $3/7=0,43$. Обязательным условием является то, что сумма коэффициентов значимости всех функций должна равняться 1 – условие выполняется.

Анализ стоимости функций, выполняемых объектом исследования

Задача данной стадии заключается в том, что с помощью применения нормативного метода оценить уровень затрат на выполнение каждой функции. Расчет стоимости функции приведен в таблице 5.5

Таблица 5.5 – Определение стоимости функций, выполняемых объектом

Наименование процесса	Выполняемая функция	Стоимость материала, руб.	Заработная плата, руб.
Запасание электроэнергии в аккумуляторах	Обеспечивает бесперебойность электроснабжения в ночные часы или при аварийных ситуациях	Аккумуляторные батареи 911880 руб за 28 шт.	Исполнитель проекта 17000 руб.
Электроснабжение от ВЭУ	Обеспечивает подачу электроэнергии потребителю	Ветрогенератор SW 576000 за 6 шт.	
Подача электроэнергии от солнечных панелей	Позволяет уменьшить траты на аккумуляторы и сохраняет электроснабжение более стабильным	Солнечные элементы 340500 руб. за 10 шт.	

Примечание: стоимость материалов определены по среднерыночным ценам по России на 20.04.2020 г.

Построение функционально- стоимостной диаграммы объекта

Информация об объекте исследования, собранная в рамках предыдущих стадий, на данном этапе обобщается в виде функционально-стоимостной диаграммы (ФСД) (рис. 5.2)



Рисунок 5.2 – Функционально-стоимостная диаграмма

Построенная функционально-стоимостная диаграмма позволяет выявить диспропорции между важностью (полезностью) функций и затратами на них. Анализ приведенной выше ФСТД не показывает явное наличие рассогласования по функциям 1, 2, 3.

Оптимизация функций, выполняемых объектом

В качестве конкретных шагов, которые необходимо предложить на данном этапе, должны выступать предложения, связанные с экономией за счет:

- применения принципиально новых конструкторских решений;
- устранения функционального резерва;
- оптимизации технических параметров;
- унификации сборочных единиц и деталей;
- совмещения функций в сборочных единицах и деталях;
- оптимизации параметров надежности;
- повышения ремонтопригодности;
- применения новых техпроцессов, заготовок и материалов и т.д.

В конечном счете результатом проведения FAST-анализа высокотехнологической и ресурсоэффективной разработки должно быть снижение затрат на единицу полезного эффекта, достигаемое путем:

- сокращения затрат при одновременном повышении потребительских свойств объекта;
- повышения качества при сохранении уровня затрат;
- уменьшения затрат при сохранении уровня качества;

- сокращения затрат при обоснованном снижении технических параметров до их функционально необходимого уровня;
- повышения качества при некотором, экономически оправданном увеличении затрат.

5.1.4 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. (Таблица 5.6).

На первом этапе анализа осуществляется описание сильных и слабых сторон проекта, выявляются возможности и угрозы для реализации проекта.

Таблица 5.6 – Матрица SWOT

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Экологическая безопасность. С2. Относительная простота разрабатываемого метода. С3. Высокая эффективность, т.к. износ бурового наконечника незначителен. С4. Возможность использования метода без вывода оборудования из работы С5. Использование электричества в качестве источника энергии	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Высокие градиенты напряжения. Сл2. Не проработана инфраструктура по поддержке оборудования. Сл3. Большие размеры и вес генератора импульсов. Сл4. Высокая вероятность поражения электрическим током.
Возможности: В1.Повышение требований к синхронной работе электрооборудования. В2.Ужесточение требований к качеству выпускаемого силового оборудования. В3.Совершенствование технологических схем. В4. Интерес к разработке со стороны зарубежных инвесторов.		

Продолжение таблицы 5.6

Угрозы: У1. Незаинтересованность в разработке у крупных российских отраслевых компаний, отсутствие инвестиций. У2.Отсутствие спроса на данный метод в отрасли. У3. Высокие требования к технике безопасности и квалификации специалистов.		
---	--	--

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Для этого необходимо построить интерактивную матрицу проекта, которая представлена в таблицах 5.7-5.10. Каждый фактор помечается либо знаком «+» – сильное соответствие сильных сторон возможностям, либо знаком «-» – слабое соответствие; «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-».

Таблица 5.7 – Интерактивная матрица «Сильные стороны и возможности»

Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	0	0	–	–	+
	B2	+	0	0	0	+
	B3	0	0	–	+	+
	B4	+	+	+	+	+

Таблица 5.8 – Интерактивная матрица «Слабые стороны и возможности»

Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	B1	0	0	–	–
	B2	+	–	–	+
	B3	–	–	–	–
	B4	–	0	0	–

Таблица 5.9 – Интерактивная матрица «Сильные стороны и угрозы»

Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	–	–	–	0	+
	У2	0	0	–	–	+
	У3	–	–	0	–	+

Таблица 5.10 – Интерактивная матрица «Слабые стороны и угрозы»

Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	У1	+	+	+	–
	У2	+	+	–	0
	У3	+	–	0	+

В рамках третьего этапа составляем итоговую матрицу SWOT-анализа (табл. 5.11).

Таблица 5.11 – SWOT-анализ

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Низкая стоимость обслуживания Ветрогенераторов и солнечных панелей С2. Три независимых источника питания С3. Износ ДГУ значительно уменьшается за счет снижения рабочих моточасов. С4. Снижение вредных выбросов	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Зависимость от активности ветра на местности Сл2. Зависимость от активности солнца на местности Сл3. Большие затраты на аккумуляторные батареи
Возможности: В1. Децентрализованное электроснабжение без затрат на топливо В2. Повышение надежности электроснабжения В3. Совершенствование технологических схем.	<p>Использование технологии для диагностики нового или производимого оборудования для улучшения качества выпускаемой продукции.</p> <p>Высокая эффективность электроснабжения при меньших операционных затратах, позволяет сократить ежегодные издержки на топливо и обслуживание.</p>	<p>Развитие технологии обеспечит более точную и легкую настройку режимов работы гибридной электростанции</p> <p>Разработка новых технологических схем позволит уменьшить затраты на аккумуляторные батареи, за счет уменьшения их количества.</p>
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии у производства. У2. Высокие требования к технике безопасности в отрасли. У3. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования.	<p>Электроснабжение от ВИЭ потребует больше элементов автоматизации и более сложных интегрированных систем</p>	<p>Необходимо заинтересовать компании проработанной методикой электроснабжения</p> <p>Использовать маркетинговые приемы для повышения лояльности иностранных компаний.</p>

Данный исследуемый проект имеет более низкую стоимость обслуживания ветрогенераторов и солнечных панелей по сравнению с затратами на обслуживание традиционных генерирующих установок. Вместе с этим, развитие данной технологии осложняется зависимостью от доступности природных энергоресурсов, необходимостью установки значительного количества аккумуляторных батарей. В то же время, в рамках децентрализованного электроснабжения проект имеет хорошие перспективы на обслуживание так как при одинаковом спросе на электроэнергию, у традиционных источников больше накладных расходов.

5.1.5 Оценка готовности проекта к коммерциализации

Для оценки степени готовности научной разработки к коммерциализации и определения уровня собственных знаний для ее проведения, необходимо заполнить специальную форму (табл. 5.12). В специальной форме содержатся показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта.

Таблица 5.12 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1	Определен имеющийся научно-технический задел	5	5
2	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	4	5
3	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	4	5
4	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	4	4
5	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	4	3
6	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	2	2
7	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	3	2
8	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	2	2
9	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	3
10	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	4	4
11	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	2
12	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	1	2

Продолжение таблицы 4.12

13	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	2	1
14	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	4	5
15	Проработан механизм реализации научного проекта	4	4
	ИТОГО БАЛЛОВ	47	49

При проведении анализа по таблице, приведенной выше, по каждому показателю ставится оценка по пятибалльной шкале. Так, при оценке степени проработанности научного проекта 1 балл означает не проработанность проекта, 2 балла – слабую проработанность, 3 балла –

выполнено, но в качестве не уверен, 4 балла – выполнено качественно, 5 баллов – имеется положительное заключение независимого эксперта. Для оценки уровня имеющихся знаний у разработчика система баллов принимает следующий вид: 1 означает, что не знаком или мало знаю, 2 – в объеме теоретических знаний, 3 – знаю теорию и практические примеры применения, 4 – знаю теорию и самостоятельно выполняю, 5 – знаю теорию, выполняю и могу консультировать.

По суммарным значениям оценок готовности научного проекта к коммерциализации ($B_{\text{сум}}=47$) можно сделать вывод, что проект обладает перспективностью выше среднего. А по суммарному количеству оценок уровня имеющихся знаний у разработчика ($B_{\text{сум}}=49$) – проект также обладает перспективностью выше среднего.

Тем не менее, произведенная оценка готовности научной разработки требует дальнейшего совершенствования проекта и более глубоких исследований рынков сбыта, стоимости человеческого ресурса, необходимо более основательно проработать стратегию реализации продукта.

5.1.6 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

При коммерциализации научно-технических разработок продавец (а это, как правило, владелец соответствующих объектов интеллектуальной собственности), преследует вполне определенную цель, которая во многом зависит от того, куда в последующем он намерен направить (использовать, вложить) полученный коммерческий эффект. Это может быть получение средств для продолжения своих научных исследований и разработок (получение финансирования, оборудования, уникальных материалов, других научно-технических разработок и т.д.), одноразовое получение финансовых ресурсов для каких-либо целей или для накопления, обеспечение постоянного притока финансовых средств, а также их различные сочетания.

Для данной разработки наиболее подходит инжиниринг, т.е. комплекс инженерно-консультационных услуг коммерческого характера по подготовке и обеспечению непосредственно процесса производства, обслуживанию сооружений, эксплуатации хозяйственных объектов и реализации продукции.

Возможна следующая схема коммерциализации: между НИ ТПУ и предприятием-заказчиком инжиниринговых услуг заключается хозяйственный договор. Исполнитель предоставляет установку, собранную на средства предприятия-заказчика с использованием производственной базы НИ ТПУ, а также услуги диагностики для предприятия-заказчика.

5.2 Инициация проекта

Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы существующего. В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта. Данная информация закрепляется в Уставе проекта.

Устав проекта документирует бизнес-потребности, текущее понимание потребностей заказчика проекта, а также новый продукт, услугу или результат, который планируется создать.

5.2.1 Цель и результаты проекта

В рамках инициации определяются цели и содержание проекта, определяется объем финансирования.

Определим заинтересованные стороны и их ожидания, результат сведем в таблицу 4.13.

Таблица 5.13 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Получение патента
Руководитель проекта	Реализация проекта, получение гранта, компенсация трудозатрат
Исполнитель проекта	Получение стипендии магистра, компенсация трудозатрат
НИ ТПУ	Привлечение средств, рост рейтинга ВУЗа, повышение заработной платы сотрудников, публикация новых статей
Роснефть	Эксплуатация газотранспортных систем. Основной интерес – электроснабжение подобных объектов децентрализованными системами

Определим цели и результаты проекта (табл. 5.14).

Таблица 5.14 – Цели и результат проекта

Цели проекта	Спроектировать гибридную электростанцию
Ожидаемые результаты проекта	Действенное использование метода электроснабжение от ВИЭ
Критерии приемки результата проекта	Бесперебойное снабжение потребителя и соблюдения норм категории электроснабжения

5.2.2 Организационная структура проекта

На данном этапе работы необходимо решить следующие вопросы: кто будет входить в рабочую группу данного проекта, определить роль каждого участника в данном проекте, а также прописать функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте. Эту информацию представить в табличной форме (табл. 5.15).

Таблица 5.15 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, час
1	Обухов Сергей Геннадьевич НИ ТПУ Профессор, д.т.н.	Руководитель проекта	1. Анализ имеющихся технических решений и результатов 2. Проведение экспериментов	325
2	Жданов Иван Сергеевич НИ ТПУ Магистрант группы 5AM8Ч	Исполнитель проекта	1. Подготовка и проведение экспериментов 2. Анализ результатов экспериментов.	870

ИТОГО:	1195
---------------	-------------

5.2.3 Ограничение и допущения по проекту

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы проекта» – параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованных в рамках данного проекта.

Таблица 5.16 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/допущения
1. Бюджет проекта	600000 руб.
1.1 Источник финансирования	Собственные средства участников рабочей группы
1.2 Сроки проекта	10 октября 2019 г. – 24 мая 2020 г.
1.2.1 Дата утверждения плана управления проектом	10 октября 2019 г.
1.2.2 Дата завершения проекта	24 мая 2020 г.
1.3 Прочие ограничения и допущения	–

В результате проведения инициации проекта сформулированы цели и предполагаемые результаты, определены заинтересованные стороны проекта и финансовые рамки, что очень важно для успешного завершения проекта и его реализации.

5.3 Планирование управления научно-техническим проектом

Группа процессов планирования состоит из процессов, осуществляемых для определения общего содержания работ, уточнения целей и разработки последовательности действий, требуемых для достижения данных целей.

5.3.1 Контрольные события проекта

В рамках данного раздела необходимо определить ключевые события проекта, определить их даты и результаты, которые должны быть получены по состоянию на эти даты.

Таблица 5.17 – Контрольные события проекта

№ п/п	Контрольное событие	Дата	Результат
1	Начало изучения методов электроснабжения	15.10.19	Обобщение и систематизация информации
2	Выбор образцов для исследования	08.11.19	Сбор образцов
3	Календарное планирование работ	18.11.19	Составление плана работ
4	Планирование проведения экспериментальных исследований	29.11.19	Сборка схемы экспериментальной установки
5	Экспериментальные исследования, обработка полученных данных	11.12.19	Рабочая модель электроснабжения
6	Анализ полученных результатов, формулировка выводов, оценка эффективности результатов	25.12.19	Составление отчета по полученным данным, написание основной части

5.3.2 План проекта

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный и сетевой графики проекта.

Линейный график представляется в виде таблицы (табл. 5.18).

Таблица 5.18 – Календарный план проекта

№	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Составление ТЗ и его утверждение	1	11.10.19	12.10.19	Руководитель проекта
2	Изучение литературы и получение необходимых материалов по теме	16	16.10.19	01.11.19	Руководитель проекта, исполнитель проекта

Продолжение таблицы 5.18

3	Составление схемы экспериментальной установки	4	01.11.19	05.11.19	Исполнитель проекта
4	Подбор образцов	5	05.11.19	10.11.19	Исполнитель проекта
5	Подбор и изучение объекта исследования	3	10.11.19	13.11.19	Руководитель проекта, исполнитель проекта
6	Сборка экспериментальной установки	2	13.11.19	15.11.19	Исполнитель проекта
7	Проведение серии первичных экспериментов	12	15.11.19	27.11.19	Исполнитель проекта
8	Компьютерное моделирование ударного нагружения образцов	12	29.11.19	11.12.19	Исполнитель проекта
9	Обработка полученных данных	4	11.12.19	15.12.19	Исполнитель проекта
10	Анализ полученных результатов, формулировка выводов	4	19.12.19	23.12.19	Исполнитель проекта
11	Оценка эффективности и анализ результатов	67	24.12.19	01.03.20	Руководитель проекта, исполнитель проекта
12	Оформление результатов в форме ПЗ	64	14.03.20	24.05.20	Исполнитель проекта
Итого:		Руководитель проекта		87	
		Исполнитель проекта		193	

Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. График представлен в таблице 4.19.

5.3.3 Бюджет научного проектирования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. В процессе формирования бюджета, планируемые затраты группируются по статьям, представленным в таблице.

Компенсация трудозатрат.

Компенсацию ТЗ определим на основе показателя среднедневных оплат труда, принятого в ТПУ. Для этого оценим основную и дополнительную заработные платы.

Основная заработная плата сотрудника (от ТПУ) рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда.

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок.

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИР и определяется по формуле:

$$C_{зп} = 3_{осн} + 3_{доп}, \quad (1)$$

где $3_{осн}$ – основная заработная плата, руб.;

$3_{доп}$ – дополнительная заработная плата, руб.

Основная заработная плата:

$$3_{осн} = 3_{дн} \cdot T_{раб}, \quad (2)$$

где $3_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб./день;

$T_{раб}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб.дн.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$3_{дн} = 3_{м} \cdot M / F_d, \quad (3)$$

где $3_{м}$ – месячный должностной оклад работника, руб./мес;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб. дня $M=11,2$ месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 раб. дней $M=10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дней (таблица 5.20).

Таблица 5.20 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней: - выходные и праздничные дни	66	66
Потери рабочего времени: - отпуск и отсутствие на работе по	56	52

болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	243	247

Месячный должностной оклад работника:

$$З_м = З_б \cdot (1 + k_{пр} + k_{д}) \cdot k_p, \quad (4)$$

где $З_б$ – базовый оклад, руб./мес.;

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Основная заработная плата руководителя (от ТПУ) рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда. Отраслевая система оплаты труда в ТПУ предполагает следующий состав заработной платы:

- 1) оклад – определяется предприятием. В ТПУ оклады распределены в соответствии с занимаемыми должностями, например, ассистент, ст. преподаватель, доцент, профессор. Базовый оклад $З_б$ определяется исходя из размеров окладов, определенных штатным расписанием предприятия;
- 2) стимулирующие выплаты – устанавливаются руководителем подразделений за эффективный труд, выполнение дополнительных обязанностей и т.д.;
- 3) иные выплаты; районный коэффициент.

Таблица 5.21 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$З_б$, руб./мес.	k_p	$З_м$, руб./мес.	$З_{дн}$, руб./день	T_p , раб. дн.	$З_{осн.}$, руб.
Исполнитель	17000	1,3	22100	1002	196	196392
Руководитель	26300	1,3	34190	1551	80	124080
Итого:	43300		56290	2553		320472

Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала.

В данную статью включается сумма выплат, предусмотренных законодательством о труде, например, оплата очередных и дополнительных отпусков; оплата времени, связанного с выполнением государственных и общественных обязанностей; выплата вознаграждения за выслугу лет и т.п. (в среднем – 12 % от суммы основной заработной платы).

$$З_{доп} = k_{доп} \cdot З_{осн}, \quad (5)$$

Таблица 5.22 – Заработная плата

Заработная плата	Исполнитель	Руководитель	Сумма
------------------	-------------	--------------	-------

Основная зарплата	196392	124080	320472
Дополнительная зарплата	23567	14890	38457
Итого Сзп	358929		

Отчисления на социальные нужды.

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{соц}} = k_{\text{внеб}} \cdot C_{\text{зп}}, \quad (6)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.), равный 0,271, т.к. заключался хозяйственный договор с НИ ТПУ.

$$C_{\text{соц}} = 0,271 \cdot 358929 = 97255,75 \text{ руб.}$$

Затраты на оформление патента.

Благодаря оформлению патентов на различные товары, способы создания изделий и т. д., есть возможность обеспечить защиту от контрабандного производства изделий, и не иметь проблем с законом, если вдруг на создаваемый товар получают патент и ваши конкуренты. Также авторство на патенты дает возможность вам получить доход от того, что вы передадите права на его применение другим лицам. Согласно законам РФ, изобретением может быть признано то или иное техническое решение различных отраслей, которое относится к продукту или способу его производства. На 2019 г. стоимость оформления патента составляет 8000 руб. Сырье материалы покупные изделия и полуфабрикаты (за вычетом отходов). В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме. Количество потребных материальных ценностей определяется по нормам расхода. Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. В стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (3-5% от цены). В эту же статью включаются затраты на оформление документации (канцелярские принадлежности, тиражирование материалов). Результаты по данной статье заносятся в таблицу 5.23.

Таблица 5.23 – Сырье, материалы и комплектующие изделия

Наименование	Марка, размер	Количество	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Перчатки	-	2 шт.	25	50
Нож	-	1 шт.	60	60
Кусачки	КВТ	1 шт.	400	400
Кабель для электродов	СЕ-5-В	5 м.	1284	7382

Продолжение таблицы 5.23

Изолента	Navigator	1 шт.	20	20
Набор отверток	KBT	1 шт.	600	600
Набор гаечных ключей	Hardax	1 шт.	651	651
Маркер перманентный	P-800W	1 шт.	50	50
Указатель напряжения	-	1 шт.	28	28
Тетрадь	Общая, 48 л.	1 шт.	50	50
Бумага «Снегурочка»	A4, 500 л.	1 шт.	240	240
Итого за материалы и изделия				9531
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)				478
Итого по статье C_M				10009

Специально оборудования для научных работ.

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (прибором, контрольно-измерительной аппаратуры, стендом, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскрантам, а в ряде случаев по договорной цене.

Таблица 5.24 – специальное оборудование экспериментальных работ

Наименование оборудования	Количество единиц	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Мультиметр MASTECH M830B	1 шт.	550	550
Итого			550

Накладные расходы.

В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на конкретную тему. Кроме того, сюда относятся расходы

по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др.

Расчет накладных расходов ведется по формуле:

$$C_{итог} = C_{итог.б.н} / 0,8 \quad (7)$$

где $C_{итог}$ – итоговая сумма с накладными расходами;

$C_{итог.б.н}$ – итоговая сумма без накладных расходов.

$$C_{итог} = 474757,76 / 0,8 = 593447,2 \text{ руб.};$$

$$C_{наклад} = 593447,2 - 474757,76 = 118689,44 \text{ руб.}$$

На основании полученных данных по отдельным статья затрат составляется калькуляция плановой себестоимости НТИ по форме, которая приведена в таблице 4.25.

Таблица 5.25 – Группировка затрат по статьям

Статьи								
Сырье, материалы, руб.	Специальное оборудование, руб.	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.	Отчисления на социальные нужды, руб.	Оформление патента, руб.	Итого без накладных расходов, руб	Накладные расходы, руб.	Итого плановая себестоимость, руб.
10009	550	320472	38457	97255,75	8000	747457,76	118689,44	593227,2

5.3.4 Реестр рисков проекта

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты (табл.4.26).

Таблица 5.26 – Реестр рисков

Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность наступления (1-5)	Влияние риска (1-5)	Уровень риска	Способы смягчения риска	Условия наступления
1. Несоблюдение техники безопасности	Травмы, летальные исходы	4	2	Средний	Повышение квалификации	Несоответствие технике безопасности
2. Отсутствие финансовой поддержки проекта	Приостановка НИОКР	2	1	Высокий	Поиск инвесторов	Отсутствие инвесторов

5.4 Определение финансовой, бюджетной экономической и социальной эффективности исследования

На предыдущих этапах была рассчитана себестоимость реализации проекта, выбрана модель коммерциализации, рассмотрены риски.

Для оценки общей экономической эффективности инноваций в качестве основных показателей рекомендуются:

- чистый доход (ЧД или NV);
- чистый дисконтированный доход (ЧДД или NPV);
- внутренняя норма доходности (ВНД или IRR);
- потребность в дополнительном финансировании (ПФ);
- дисконтированный срок окупаемости (ДСО или DPP);
- индекс доходности затрат (ИД или PI).

Степень устойчивости проекта по отношению к возможным изменениям условий реализации может быть охарактеризована показателями границ безубыточности и предельных значений таких параметров проекта, как объемы производства, цены производимой продукции, ограниченность применяемых ресурсов и пр. Под "безубыточным" понимается объем продаж, при котором чистая прибыль становится равной нулю.

План денежных потоков и расчётов безубыточности приведён в таблице 5.27. Срок проекта принимаем равным 5 лет, т.к. за это время возможно появление новых, более совершенных технологий.

Рентабельность собственного производства на 2019 г. в энергетике равна 19,2% [2].
Ставку дисконтирования посчитаем согласно [3].

Стоимость одного хозяйственного договора примем как 250000 руб, согласно ценам на силовое оборудование высокого напряжения.

Ликвидационную стоимость оборудования примем по остаточной стоимости оборудования: 250 тыс. руб.

Таблица 5.27 – План денежных потоков и расчет безубыточности

Показатель, тыс. руб.	Номер шага (периода) расчета (t)					
	0	1	2	3	4	5
Операционная деятельность						
1. Поступления денежных средств от хоздоговоров	0	250	500	520	780	520
2. материальные расходы	0	-120	-205	-205	-303	-210
3. ЧДПоп	0	130	295	315	477	310
4. Коэффициент дисконтирования	1	0,825	0,681	0,562	0,463	0,382
5. Дисконтированный ЧДПоп	0	107,25	200,895	177,03	220,851	118,42
6. То же накопленным итогом (накопленное сальдо ЧДПоп)	0	107,25	308,145	485,175	706,026	824,446
7. Инвестиции	-593	0	0	0	0	250
8. ЧДПин	-593	0	0	0	0	250
9. Коэффициент дисконтирования	1	0,825	0,681	0,562	0,463	0,382
10. Дисконтированный ЧДПин	-593	0	0	0	0	95,5

Продолжение таблицы 5.27

11. То же накопленным итогом (Накопленное сальдо ЧДПин)	-593	-593	-593	-593	-593	-497,5
12. Сальдо суммарного потока (от опер. и инв. деятельности)	-593	130	295	315	477	560
13. Сальдо накопленного потока	-593	-463	-168	147	624	1184
14. Коэффициент дисконтирования	1	0,825	0,681	0,562	0,463	0,382
15. Дисконтированный ЧДПоп+и	-593	107,25	200,895	177,03	220,851	213,92
16. То же накопленным итогом	-593	-597,75	-396,855	-219,825	1,026	214,496

Денежный поток в данном случае формируется для ТПУ и частного инвестора (которым выступают сами исполнители). Принимая в расчет структуру расходов по хоздоговорам, а именно: компенсация трудозатрат, отчисления во внебюджетные фонды, материальные затраты, накладные расходы, притоком денежных средств по хоздоговору будет являться величина хоздоговора, уменьшенная на сумму материальных и прочих расходов. При общей системе налогообложения доходы по хоздоговорам равны расходам, в связи с чем налоги с доходов вузом не уплачиваются. Амортизация в структуру расходов по хоздоговорам не включается. Накладные расходы предлагается отнести к денежным притокам, отчисления во внебюджетные фонды – притоки в целях оценки эффективности для бюджета в связи с тем, что ТПУ представляет именно бюджетные инвестиции.

Чистый доход (ЧД) указан в последнем столбце 13 строки: ЧД = 1184 тыс.руб.

Чистый дисконтированный доход (ЧДД) указан в последнем столбце 16 строки: ЧДД = 214,496 тыс. руб.

ВНД определяется, исходя из строки 12, подбором значения нормы дисконта. Используя встроенную функцию расчета ВНД в программе Microsoft Excel (формула «ВСД»), получаем, что ВНД = 39 %. Это еще раз подтверждает эффективность проекта, так как $\text{ВНД} > E$. Потребность в финансировании (ПФ) определяется максимальным отрицательным значением по строке 13 и равна 593 тыс. руб.

Индекс доходности инвестиций дисконтированный (ИДД) или рентабельность инвестиций – отношение суммы доходов от производственной (операционной) деятельности к абсолютной величине капитальных вложений. Определяется как:

$$\text{ИДД} = \frac{\text{ЧД}_{\text{опнак}}}{\text{ЧД}_{\text{иннак}}} = \frac{824,446}{497,5} = 1,65 \quad (8)$$

Сроком окупаемости (payback period) называется продолжительность периода от момента разработки проекта до момента окупаемости. Он определяется путем сопоставления произведенных капитальных вложений с величиной доходов от реализации проекта. Моментом окупаемости называется тот наиболее ранний момент времени в расчетном периоде, после которого текущий чистый доход ЧД становится и в дальнейшем остается неотрицательным. Дисконтированный срок окупаемости инвестиций:

$$\text{ДСО} = t + \frac{-C_{ni}}{C_{ci+1}} = 3 + \frac{219,825}{220,851} = 3,99 \text{ года}, \quad (9)$$

где t – срок окупаемости, отсчитанный от начала операционной деятельности;

C_{ni} – сальдо накопленного потока i -го периода;

C_{ci+1} – сальдо суммарного потока $i+1$ -го периода.

Данный срок считается довольно приемлемым, так как это новая технология и нужно время для создания рынка и поиска потребителя.

5.5 Вывод по разделу

Как уже упоминалось выше, описанный в научной работе способ является альтернативным и имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционными способами электроснабжения, но производить подобного рода технологию может только научно-технический персонал с соответствующим уровнем образования и опыта в научных центрах и лабораториях.

В текущем разделе был выполнен следующий алгоритм:

- анализ и оценка научно-технического уровня проекта, который показал, что разрабатываемая технология имеет среднюю значимость теоретического и практического уровня;
- SWOT-анализ выявил наиболее важные проблемы, которые необходимо решить в процессе выполнения проекта. Одной из таких проблем является привлечение в команду высококвалифицированных экономистов и маркетологов, которые способны проработать потенциальный потребителей и найти рынки сбыта;
- разработан календарный план проекта и построен календарный план-график. В проектной деятельности участвуют двое сотрудников: руководитель и исполнитель проекта;
- определена трудоемкость работ, которая составила 247 календарных дней;
- составлена смета всех затрат на реализацию проекта, общая сумма затрат которых равняется 592227,2 рублей.

Подводя итоги исследуемой технологии электроснабжения промышленных объектов от возобновляемых источников энергии по критериям ресурсоэффективности и ресурсосбережения, следует выделить, что по всем показателям и расчетам электроснабжение от ветрогенераторных установок является конкурентоспособным и актуальным для применения в нефтегазовой и горнодобывающей промышленности. Проект будет приносить прибыль достаточную для существования на мировом рынке сбыта и приобретёт необходимость потребности в ресурсодобывающих отраслях.

Список литературы

1. Елистратов В.В. Возобновляемая энергетика. Издание 2-е добавление - Санкт-Петербург: Наука 2013 - 308 с.
2. Могильницкая Г.О., Никулина И.Е.. Менеджмент: Методические указания по подготовке и защите выпускной квалификационной работы для студентов специальностей 080502 «Экономика и управление на предприятии (по отраслям)» и 080507 «Менеджмент организации». - Томск: Изд-во ТПУ, 2014. - 28 с.
3. Пястолов С.М. Экономический анализ деятельности предприятий учеб. пособие для вузов. – М.: Академ. проект, 2004. – 576 с.
4. Гаврикова Н.А., Тухватулина Л.Р., Видяев И.Г., Серикова Г.Н., Шаповалова Н.В.. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. –Томск: Изд-во ТПУ, 2014. – 73 с.
5. Попова С.Н.. Управление проектами.– Томск: Изд-во ТПУ, 2009. – 121 с.
6. Карпунина М.Г.,Майданчика Б.И.. Основы функционально-стоимостного анализа: Учебное пособие. – М: 1980. – 175 с. 88
7. Финансовый менеджмент учебник под ред. Г.Б. Поляка. – М.: ЮНИТИ, 2004. – 526 с.
8. Шеремет А.Д., Финансы предприятий: менеджмент и анализ учеб. пособие для вузов, МГУ, Эконом. факультет. - М.: Инфра-М, 2004. – 537 с.
9. Экономика предприятия учебник под ред. В.Я. Горфинкеля, В.А. Швандара. – М.: ЮНИТИ, 2007. – 671 с

6. Социальная ответственность

Безопасность жизнедеятельности – это система законодательных актов и соответствующих им технических, социально-экономических, гигиенических, организационных мероприятий, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда.

Социальная ответственность выражает характер взаимоотношений личности с окружающими ее людьми. Общественная природа поведения человека является основой социальной ответственности [1, с.4].

В данном разделе рассматриваются вопросы безопасности и охраны труда при проведении исследований в рамках магистерской диссертации, а точнее при работе с электрофизической установкой – ветроэнергетической установкой (далее «установкой»). Модельный стенд, имитирующий работу ветровой электростанции, имитирует работу ветроэнергетической установки, которая преобразует энергию ветра в механическую, а потом за счет работы генератора, непосредственно, в электрическую.

Областью применения данной разработки является нефтегазовая промышленность, поэтому данная разработка нацелена на профильные компании, которые испытывает потребность в электроснабжении автономных, изолированных от централизованной сети, объектах.

Актуальность работы состоит в том, что на данный момент подобные предприятия тратят огромные средства на выработку электроэнергии, а данная разработка призвана снизить затраты и оптимизировать производственный процесс.

Условия проведения технологического процесса сопровождаются опасными и вредными факторами, поэтому необходимо учесть вопросы пожарной безопасности, охраны окружающей среды, поведение объекта в чрезвычайных ситуациях и меры, которые необходимы для повышения устойчивости при ЧС.

6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Согласно ТК РФ от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018) каждый работник имеет право на [2]:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в соответствии с федеральным законом;
- отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда, за исключением случаев, предусмотренных федеральными законами, до устранения такой опасности;
- обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;

- внеочередной медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра.

Рабочая зона должна быть обязательно огорожена специальными барьерами с закрепленными на них предупреждающими плакатами «Стоять! Напряжение», «Не влезай, убьет» или «Испытание, опасно для жизни» [3]. Также рядом с установкой не должно быть посторонних предметов, которые могут осложнить доступ к рабочему месту.

6.2 Производственная безопасность

Для идентификации потенциальных факторов необходимо использовать ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды, представлен в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1. Отклонение показателей микроклимата	-	-	-	СанПин 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» (1 октября 1996 г. N 21) [4]
2. Превышение уровня шума	-	-	+	СН 2.2.4/2.1.8.562-96, ГОСТ 12.1.003-2014 «ССБТ. Шум. Общие требования безопасности»
3. Отсутствие или недостаток естественного света	+	+	+	СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение»
4. Недостаточная освещенность рабочей зоны	-	-	-	СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение»
5. Воздействие электромагнитного поля	-	-	+	СанПин 2.2.4.1191-03 «Электромагнитные поля в производственных условиях» [6]

6. Повышенное значение напряжения в электрической цепи	-	+	+	Правила устройства электроустановок (ПУЭ)
7. Острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования	-	+	+	ГОСТ 12.2.003-91 «Оборудование производственное. Общие требования безопасности»

6.1.1 Анализ вредных производственных факторов

Отклонение показателей микроклимата.

Под микроклиматом производственной среды понимается сочетание температуры, относительной влажности, скорости движения интенсивного теплового излучения [4]. Перечисленные параметры оказывают огромное влияние на функциональную деятельность человека, его самочувствие и здоровье.

Помещение должно в первую очередь соответствовать количеству работающих и размещаемому в нём оборудованию и комплексу технических средств. В нём предусматривают соответствующие параметры температуры, освещения, чистоты воздуха. Для обеспечения нормальных условий труда санитарные нормы устанавливают на одного работающего площадь помещения, выгороженного стенами или глухими перегородками, не менее 6 м².

Одним из необходимых условий здорового и высокопроизводительного труда является обеспечение чистоты воздуха и нормальных метеорологических условий в помещении. В каждом производственном помещении содержатся вредные вещества, которые классифицируются согласно ГОСТ 12.1005-88. В данном случае мы имеем дело с углекислым газом (CO₂). Предельно допустимая норма содержания CO₂ в воздухе – 20 мг/м³. Проблему снижения содержания CO₂ в воздухе можно решить путем применения естественной и искусственной вентиляции помещения, а также озеленение помещения [5].

Оптимальные условия микроклимата.

Холодный и летний период года – (t ниже +10 °C) на постоянных рабочих местах.

Характеристика производственных помещений:

– помещения, характеризующиеся незначительными избытками явной теплоты (23 Вт/м² и менее). Категория работ: средней тяжести - Пб (233-290) Вт; температура воздуха – 17,0-19,0 °C; относительная влажность воздуха – 60-40%; скорость движения воздуха: не более 0,2 м/с; температура воздуха вне постоянных рабочих мест: 13-20 °C.

Тёплый период года – (t +10 °C и выше) на постоянных рабочих местах.

Характеристика производственных помещений:

– помещения, характеризующиеся незначительными избытками явной теплоты (более 23 Вт/м²). Категория работ: средней тяжести - Пб (233-290) Вт; температура воздуха- 19,0-21,0 °С; относительная влажность воздуха – 60-40 %; скорость движения воздуха: 0,2 м/с; температура воздуха вне постоянных рабочих мест: не более чем на 3 °С выше средней температуры наружного воздуха.

Допустимые условия микроклимата.

Холодный и летний период года – (t ниже +10 °С) на постоянных рабочих местах.

Характеристика производственных помещений:

– помещения, характеризующиеся незначительными избытками явной теплоты (23 Вт/м² и менее). Категория работ: средней тяжести – Пб (233-290) Вт; температура воздуха – 15,0-22,0 °С; относительная влажность воздуха – 15-75%; скорость движения воздуха: 0,2-0,4 м/с; температура воздуха вне постоянных рабочих мест: 14-23 °С.

Тёплый период года – (t +10 °С и выше) на постоянных рабочих местах.

Характеристика производственных помещений:

– помещения, характеризующиеся незначительными избытками явной теплоты (более 23 Вт/м²). Категория работ: средней тяжести – Пб (233-290) Вт; температура воздуха – 16,0-27,0 °С; относительная влажность воздуха – 15-75%; скорость движения воздуха: 0,2-0,5 м/с; температура воздуха вне постоянных рабочих мест: не более чем на 5 °С выше средней температуры наружного воздуха.

Тепловое излучение: допустимые величины интенсивности теплового облучения работающих от источников излучения, нагретых до белого и красного свечения (раскаленный или расплавленный металл, стекло, пламя и др.), не должны превышать 140 Вт/м². При этом облучению не должно подвергаться более 25% поверхности тела и обязательным является использование средств индивидуальной защиты, в том числе средств защиты лица и глаз.

В соответствии с СанПиН 2.2.4.548-96 температура наружных поверхностей технологического оборудования и ограждений на рабочем месте не должна превышать 45 °С.

Превышение уровня шума.

С физиологической точки зрения шум рассматривают как звук, мешающий разговорной речи и негативно влияющий на здоровье человека. Шумы в рассматриваемом помещении возникают как от внутренних источников, так и от внешних раздражителей.

При работе установки во время проведения испытаний, эквивалентный уровень шума не должен превышать 50 дБА. Согласно с СН 2.2.4/2.1.8.562-96, ГОСТ 12.1.003-2014 «ССБТ. Шум. Общие требования безопасности», в рабочем помещении эта норма соблюдается.

Для измерения шума применяют шумомеры. Все измерения производят в соответствии с ГОСТ 12.1050-86 и ГОСТ 23941-79.

Наиболее перспективным способом снижения шума является использование малозумного оборудования, при этом вводится техническое нормирование шума машин. В паспорте машины указывается шумовая характеристика. В соответствии с ГОСТом 12.1.003-2014 защита от шума, создаваемого на рабочих местах внутренними и внешними источниками, осуществляется уменьшением шума в источнике, применением средств коллективной (ГОСТ 12.1.029-80) и индивидуальной (ГОСТ 12.4.011-89) защиты. Классификация средств коллективной защиты от шума представлена на рис. 6.1.

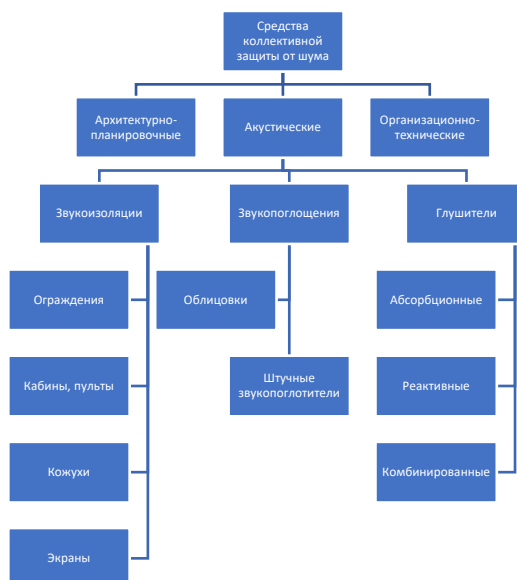


Рисунок 6.1 – Средства коллективной защиты от шума.

Средства индивидуальной защиты (СИЗ) – противошумы. Противошумы по ГОСТ 12.4.011-89 подразделяются на три типа:

- наушники, закрывающие ушную раковину. В зависимости от частоты они обеспечивают снижение шума на 7-47 дБ. Наиболее эффективно наушники обеспечивают защиту на высоких частотах;

- вкладыши, перекрывающие наружный слуховой канал (беруши). В зависимости от частоты они обеспечивают снижение уровня шума на 5-20 дБ. Их изготавливают из специального ультратонкого волокна, а также из резины или эбонита;

- шлемы, закрывающие часть головы и ушную раковину. Применяют при очень высоких уровнях шума (более 120 дБ).

Основным источником шума при работе дизель-генератора считается двигатель внутреннего сгорания. Практика показала, что если уровень шума дизельного генератора превышает 96 дБА, то уже через 20 лет более 34% обслуживающего персонала, работающего в непосредственной близости от установки, страдают заболеваниями, связанными с потерей слуха.

Основные технические способы борьбы с шумом от дизельной электростанции:

- 1) Установка дизель-генераторов на амортизационные устройства, позволяющие снизить вибрационную составляющую шума.
- 2) Глушители, монтируемые на систему выпуска выхлопных газов, которая считается одним из основных источников звука.
- 3) Вентиляционные решетки, обеспечивающие снижение скорости воздуха и рассеивающие энергию звуков, создаваемых воздушными массами.

Освещение на рабочем месте.

О важности вопросов производственного освещения говорит тот факт, что условия деятельности исследователя в системе «человек-машина» связаны явным преобладанием зрительной информации - до 90 % общего объема.

Выполняемая работа относится к классу «точных». Для искусственного освещения СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение» регламентирована наименьшая допустимая освещенность рабочих мест – 300 Лк, рекомендуемая – 400 Лк.

Основные требования к рабочему освещению [5]:

- освещенность на рабочем месте должна соответствовать характеру зрительных работ;
- необходимо обеспечить достаточно равномерное распределение яркости на рабочей поверхности и в пределах окружающего пространства;
- на рабочей поверхности должны отсутствовать резкие тени;
- в поле зрения должна отсутствовать прямая и отраженная бликость - повышенная яркость светящихся поверхностей;
- величина освещенности должна быть постоянной во времени;
- следует выбирать необходимый спектральный состав света;
- следует выбирать оптимальную направленность светового потока;
- все элементы осветительных установок должны быть достаточно долговечны, электробезопасны, а также не должны быть причиной возникновения пожара или взрыва;

- установка должна быть удобной и простой в эксплуатации, отвечать требованиям эстетики.

Для обеспечения нормативной освещённости необходимо использовать совмещённое освещение, при котором естественное дополняется искусственным. Естественное освещение является боковым, а искусственное – общим. В условиях недостаточной освещённости в утреннее и вечернее время используется искусственное освещение.

Воздействие электромагнитного поля.

Источником электромагнитного поля в рассматриваемом рабочем месте являются устройства, не предназначенные для излучения электромагнитной энергии в пространство, но в которых при работе протекает электрический ток: системы передачи и распределения электроэнергии (линии электропередачи, трансформаторные и распределительные подстанции) и приборы, потребляющие электроэнергию (электродвигатели, электроплиты, холодильники, телевизоры и т.п.). Непосредственно в близком контакте с рабочими находятся компьютеры и электродвигательные установки.

Нормируемыми параметрами электромагнитных полей является напряженность. Предельно допустимая напряжённость электромагнитного поля на рабочих местах не должна превышать в течение рабочего дня по электрической и магнитной составляющей нормативов согласно ГОСТ 12.1.006-84. Предельно допустимая напряженность электромагнитного поля на рабочих местах не должна превышать нормативов в течение рабочего дня по электрической составляющей согласно таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Напряженность электромагнитного поля

Наименование параметров		ВДУ
Напряженность электрического поля (Е)	В диапазоне частот (5-2) Гц	25 В/м
	В диапазоне частот (2-400) кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	В диапазоне частот (5-2) Гц	250 нТл
	В диапазоне частот (2-400) кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля (Н)		15 кВ/м

Для защиты от излучений применяют защитные экраны и ограничивают время работы за установкой [6].

Повышенное значение напряжения в электрической цепи.

В процессе сборки установки для исследования и проведения опытов, исследователь подвергается опасности поражения электрическим током, результатом которого могут стать электротравма, ожог или смерть.

Среди основных причин, приводящих к поражению электрическим током выделяют:

- случайное прикосновение или приближение на опасное расстояние к токоведущим частям, находящимся под напряжением;
- появление напряжения на механических конструктивных частях электрооборудования (корпусе, кожухе и т.п.) в результате повреждения изоляции, коротких замыканий и других причин;
- появление напряжения на отключенных частях, на которых производится какая-либо работа из-за ошибочного включения установки;
- возникновение шагового напряжения на поверхности земли в результате замыкания на землю.

Согласно ПУЭ в отношении опасности поражения людей электрическим током территория лаборатории приравнивается к безопасным помещениям.

Полностью безопасными для работника являются помещения, в которых возможность поражения электрическим током сводится к минимуму.

Критерии безопасных помещений:

- сухость, влажность колеблется от 40 до 45%;
- хорошо проветриваемые;
- хорошо отапливаемые, температура воздуха составляет 18-20°
- без токопроводящей пыли;
- коэффициент заполнения площади предметами из металла составляет меньше, чем 0,2;
- с токонерпроводящими полами.

Всю совокупность мер и способов защиты от поражения электрическим током можно разделить на организационные и технические.

К организационным мерам защиты от поражения электрическим током относят:

- назначение лиц, ответственных за организацию и безопасность производства работ;

- обучение персонала правилам производства работ и эксплуатации электротехнического оборудования;
- оформление наряда или распоряжения на производство работ;
- проведение инструктажей перед началом работ с электроустановками;
- организация надзора за проведением работ;
- установление рациональных режимов труда и отдыха;
- применение средств индивидуальной защиты, предупреждающих плакатов и знаков безопасности в соответствии с требованиями ГОСТ 12.4.026-76;
- изолирование и ограждение токоведущих частей электрооборудования (РД 153-34.0-03.150-00).

Одним из важнейших организационных мер защиты от поражения электрическим током является применение средств индивидуальной защиты. Они предназначены для защиты тела, органов дыхания, зрения, слуха, головы, лица и рук от травм и воздействия неблагоприятных производственных факторов.

К техническим мерам защиты от поражения электрическим током относят:

- электрическое разделение сети;
- компенсация токов замыкания на землю;
- выравнивание потенциала;
- применение защитного заземления, зануления;
- контроль и профилактика изоляции;
- защитное отключение.

Защитное заземление – преднамеренное электрическое соединение с землей или её эквивалентом механических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением (ГОСТ 12.1.030-81). Цель защитного заземления - устранение опасности поражения людей электрическим током при появлении напряжения на конструктивных частях электрооборудования.

Контроль изоляции - это измерение ее активного сопротивления с целью обнаружения дефектов и предупреждения замыканий на землю и коротких замыканий.

Зануление – преднамеренное электрическое соединение с нулевым защитным проводником металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением. Нулевой

защитный проводник – это проводник, соединяющий зануляемые части с глухозаземлённой нейтральной точкой обмотки источника тока или её эквивалентом (ГОСТ 12.1.009-76).

Защитное отключение – быстродействующая защита, обеспечивающая автоматическое отключение электроустановки при возникновении в ней опасности поражения электрическим током. Устройства защитного отключения должны обеспечивать отключение неисправной электроустановки за время не более 0,2 с (ГОСТ 12.1.019-2017).

Все операции производятся по инструкциям и правилам, изложенным в следующих документах:

- Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей и Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей [8];

- межотраслевые правила по охране труда при эксплуатации электроустановок РД 153-34.0-03.150-00;

- строительные нормы и правила СНиП III.A.II-70;

- правила техники безопасности при электромонтажных и наладочных работах (ПТБЭМ).

Таким образом, применение как организационных, так и технических мероприятий позволяют минимизировать возможность поражения электрическим током при проведении работ на подстанции.

Острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования.

В процессе осуществления сборки лабораторной установки исследователь подвержен опасности получения механической травмы из-за наличия острых кромок, заусенцев и шероховатостей на поверхности оборудования и инструмента. Так, в процессе установки горной породы на специальную поверхность, существует вероятность получения механической травмы из-за наличия острых граней на поверхности горной породы. Кроме того, используемое в исследовании электрооборудование имеет острые кромки, что также создает опасность получения механической травмы.

К опасностям, механически воздействующим на организм человека, относятся разрушающиеся конструкции; острые кромки, заусеницы и шероховатость на поверхности оборудования и инструмента и др. В зависимости от возможности предохранения человека в условиях взаимодействия его с потенциально опасными техническими объектами согласно ГОСТ 12.2.003-91 «Оборудование производственное. Общие требования безопасности» применяются два основных метода защиты работника от механических опасностей: обеспечение недоступности к

опасно действующим частям оборудования и применения приспособлений, непосредственно защищающих человека от опасного производственного фактора.

Первый метод состоит в пространственном или временном разделении рабочей зоны и опасной зоны. Кроме того, к данному методу относится все, что связано с конструктивными особенностями как самого оборудования, так и устройств, ограждающих и блокирующих опасные зоны (ГОСТ 12.2.003-91). Недоступность может быть обеспечена размещением опасных объектов на недостижимой высоте, а также под прикрытием или в трубах.

Ко второму методу относятся приспособления, с помощью которых обеспечивается безопасность взаимодействия с опасными частями оборудования, в том числе и дистанционное управление, а также устройства, автоматически прекращающие работу агрегата или подачу энергии в систему и т.д. К средствам достижения безопасности относятся средства коллективной (ГОСТ 12.1029-80) и индивидуальной (ГОСТ 12.4051-87) защиты.

6.2 Экологическая безопасность

Исследовательский процесс подразумевает разрушение твердых материалов при воздействии на них импульсного напряжения субмикросекундной длительности в водной среде. В ходе выполнения исследовательской работы необходимо учитывать предельную концентрацию вредных веществ в воздухе рабочей зоны, которая регулируется ГН 2.2.5.3532-18 «Предельно допустимая концентрация (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны», ГН 2.2.5.2308-07 «Ориентировочно безопасный уровень воздействия (ОБУВ) вредных веществ в воздухе рабочей зоны». В ходе работы концентрация вредных веществ в воздухе рабочей зоны не выходила за допустимые пределы.

Проектом предусмотрены определённые меры по сведению до минимума нагрузки на окружающую среду. Используемое в составе испытательного стенда оборудование полностью соответствует существующим международным стандартам в области экологии, поэтому его применение не приведёт к загрязнению окружающей среды и электромагнитное излучение не превысит установленные предельно-допустимые нормы.

Классификация твердых промышленных отходов.

Твердые промышленные отходы (ТПО) представляют собой, как правило, более или менее однородные продукты, которые не требуют предварительной сепарации по группам для их переработки [9,с.39].

Каждое производственное подразделение, как правило, характеризуется своим специфическим видом ТПО, представляющим собой смесь различных продуктов, образующихся в процессе производства тех или иных изделий или полупродуктов.

Итак, все твердые промышленные отходы (ТПО) следует подразделить на следующие группы:

- отходы металлоперерабатывающих производственных подразделений;
- отходы металлургических производственных подразделений;
- отходы стекольных и керамических производств;
- отходы при производстве полимерных материалов синтетической химии (в том числе отходы резины и резинотехнических изделий);
- отходы из природных полимерных материалов (отходы древесины, картона, целлюлозно-бумажные отходы, отходы фиброина, кератина, казеина, коллагена);
- отходы отопительных систем;
- волокнистые отходы;
- радиоактивные отходы.

Все ТПО, как уже отмечалось, не требуют сепарации и сразу могут подвергаться переработке для получения товарных продуктов и изделий. Следует отметить, что общее количество ТПО, перерабатываемых при высокой температуре (в отличие от обычного сжигания при низкой температуре в бытовых условиях, при которых вообще недопустима такая переработка синтетических полимерных материалов в виду возможного побочного образования ДО и ДПВ) не должна превышать значительных количеств. В виду возможного нарушения сохранения природной органики в почвенном слое и вообще в биосфере при возможной высокотемпературной переработке в большом масштабе.

Также с точки зрения влияния на окружающую среду можно рассмотреть воздействие серверного оборудования при его утилизации.

Большинство компьютерной техники содержит бериллий, кадмий, мышьяк, поливинилхлорид, ртуть, свинец, фталаты, огнезащитные составы на основе брома и редкоземельные минералы. Это очень вредные вещества, которые не должны попадать на свалку после истечения срока использования, а должны правильно утилизироваться.

Утилизация компьютерного оборудования осуществляется по специально разработанной схеме, которая должна соблюдаться в организациях:

1. На первом этапе необходимо создать комиссию, задача которой заключается в принятии решений по списанию морально устаревшей или не рабочей техники, каждый образец рассматривается с технической точки зрения;
2. Разрабатывается приказ о списании устройств. Для проведения экспертизы привлекается квалифицированное стороннее лицо или организация;

3. Составляется акт утилизации, основанного на результатах технического анализа, который подтверждает негодность оборудования для дальнейшего применения;

4. Формируется приказ на утилизацию. Все сопутствующие расходы должны отображаться в бухгалтерии;

5. Утилизацию оргтехники обязательно должна осуществлять специализированная фирма;

6. Получается специальная официальной формы, которая подтвердит успешность уничтожения электронного мусора.

После оформления всех необходимых документов, компьютерная техника вывозится со склада на перерабатывающую фабрику. Все полученные в ходе переработки материалы вторично используются в различных производственных процессах.

6.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Характерной ЧС при эксплуатации электрооборудования является пожар. Причинами пожара могут быть аварийные режимы работы электрических изделий, сопровождаемые нагреванием проводов и аппаратов, искрением и образованием электрической дуги: короткое замыкание, перегрузка проводов и аппаратов, большое переходное сопротивление [10]. Основы противопожарной защиты определяются стандартами ГОСТ 12.1.004-91 «Пожарная безопасность», ГОСТ 12.1.010-76 «Взрывоопасность. Общие требования», НПБ 105-03 и ППБ-03.

В соответствии с Федеральным законом от 22 июля 2008 г. N 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» помещение лаборатории имеет категорию В [11].

Для предотвращения возникновения пожара применяются следующие шаги: проверка работника на предмет знаний пожарной безопасности, выполнение работ в соответствии с правилами, плановый осмотр установки.

Экспериментальная установка устойчива к возникновению пожара, т.к., все токоведущие части надежно изолированы и проверяются согласно плану. Если все же возникнет пожар, рабочая группа будет действовать в следующем порядке:

- вызов пожарного расчета;
- отключение всех электроустановок;
- закрытие окон и дверей, чтобы исключить сквозняк и доступ кислорода, который поддерживает процесс горения;
- каждый работник воспользуется первичными средствами пожаротушения (огнетушитель ОУ-5-ВСЕ). При невозможности самостоятельно ликвидировать возгорание – немедленно начать эвакуацию.

На рисунке 4.2 показан план эвакуации людей с цокольного этажа корпуса №8 ТПУ.



Рисунок 6.2 – План эвакуации с цокольного этажа

(сплошная линия – основной путь эвакуации, пунктирная – запасной)

На рисунке 6.3 показан план эвакуации людей с первого этажа корпуса №8 ТПУ.



Рисунок 6.3 – План эвакуации с первого этажа

(сплошная линия – основной путь эвакуации, пунктирная – запасной)

Системы противопожарной защиты здания должны обеспечивать возможность эвакуации людей в безопасную зону до наступления предельно допустимых значений опасных факторов пожара.

В соответствии с ГОСТ 12.1.007-76* «ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности» оповещение людей о пожаре, управление эвакуацией людей и обеспечение их безопасной эвакуации при пожаре в здании должны осуществляться одним из следующих способов или комбинацией следующих способов:

1) подача световых, звуковых и (или) речевых сигналов во все помещения с постоянным или временным пребыванием людей;

2) размещение и обеспечение освещения знаков пожарной безопасности на путях эвакуации в течение нормативного времени;

3) включение эвакуационного (аварийного) освещения;

5) дистанционное открывание запоров дверей эвакуационных выходов;

6) обеспечение связью пожарного поста (диспетчерской) с зонами оповещения людей о пожаре.

Стоит отметить, что корпус №8 ТПУ оборудован системой противопожарной защиты, что в случае возникновения ЧС обеспечит безопасную и быструю эвакуацию людей из здания.

6.4 Выводы по разделу

Благодаря выявленным вредным и опасным производственным факторам (повышенный шум, воздействие электромагнитного поля, микроклимат, освещение, поражение электрическим током, пожар) появилась возможность сделать научно-исследовательский процесс максимально безопасным для всех задействованных в нем лиц. Вместе с выявленными неблагоприятными производственными факторами были определены меры и мероприятия, которые призваны обеспечивать безопасность на рабочем месте и препятствовать возникновению чрезвычайных ситуаций, получению производственных травм. К мерам, обеспечивающим безопасность, относятся: применение специальных защитных средств, при работе с экспериментальным стендом, правильная компоновка рабочего места исследователя, соблюдение норм пожарной безопасности и соответствующих мер предосторожности в рабочей зоне.

Производственное освещение является одной из важных составляющих комфортных условий работы, поскольку достаточная освещенность позволяет сохранять зрительные органы в тонусе и избегать быстрого переутомления. На рабочем месте исследователя-разработчика нормы освещенности и качественные показатели освещения соблюдаются. В качестве источника искусственного освещения применяются люминесцентные лампы необходимой для помещения мощности, также имеется дополнительное естественное освещение от окон.

Также была выявлена наиболее вероятная чрезвычайная ситуация, которая может возникнуть во время рабочего процесса – короткое замыкание и как следствие пожар. Поэтому появилась необходимость в разработке мероприятий по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций с указанием плана эвакуации с рабочего места.


Список литературы

1. Безопасность жизнедеятельности: учебное пособие / О.Б. Назаренко, Ю.А. Амелькович; Томский политехнический университет. – 3-е изд., перераб. и доп. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 178 с.;
2. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018);
3. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок (Приказ Минтруда России от 24 июля 2013 г. №328н);
4. СанПин 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» (1 октября 1996 г. N 21);
5. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы»;
6. СанПин 2.2.4.1191-03 «Электромагнитные поля в производственных условиях»;
7. Чекалин Н. А. Охрана труда в электротехнической промышленности. М.: Энергоатомиздат, 1984. — 272 с., ил.;
8. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей и Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей;
9. А.А. Дрейер, А.Н. Сачков, К.С. Никольский, Ю.И. Маринин, А.В. Миронов. Твердые промышленные и бытовые отходы, их свойства и переработка, 1997 г.;
10. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности;
11. Федеральный закон от 22 июля 2008 г. N 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

Приложение I

Приложение А – Техническое задание

Рисунок А1 – Часть 1



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО "НИЖНЕВАРТОВСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ И ПРОЕКТНЫЙ ИНСТИТУТ НЕФТЕДОБЫЧИ"
(АО Нижневартовск НИПИнефть)

Почтовый / юридический адрес: г. Нижневартовск, ул. Ломоносова, д. 3
Телефон: (846) 205 86 00, факс: (846) 205 86 01, e-mail: snipoil@samnirineft.ru
ОКПО 51887016, ОГРН 1026301159939, ИНН/КПП 631605/8902/631050001

от 09.09.2019 № ИСХ-СН/ПЗ-02360

на № _____ от _____

Уважаемые коллеги!

АО «НижневартовскНИПИнефть» в интересах ПАО «НК «Роснефть» разработаны технические решения по применению возобновляемых источников энергии (далее ВИЭ) для электроснабжения нефтегазодобывающих предприятий, определен перечень потенциальных для электроснабжения на основе ВИЭ объектов с характерными нагрузками энергопотребителей.


В настоящий момент определены объекты ряда добывающих Обществ, расположенных на территории Ханты-Мансийского автономного округа, Нефтеюганского района. Прорабатывается вопрос практического применения установок ВИЭ на указанных объектах.

На основании изложенного прошу Вас направить в наш адрес, в том числе на адрес электронной почты: snipoil@samnirineft.ru технико-коммерческие предложения в соответствии с приложениями 1 к данному письму. В Приложении 2 представлены типовые мощности потребителей, максимальные потребления электроэнергии, сезонные потребления электроэнергии.

Приложение: формат предоставления ТКП на 2 л.

С уважением,

Начальник управления планирования
Объектов энергетики



И.С. Ефремов

Исп. Гаврилов А.К.,
Тел. (846) 314-86-34

Приложение 2

**Опросный лист на гибридную ветро-солнечную энергоустановку,
с учетом следующих основных параметров:**

1. Время автономной работы энергоустановки – 32 часа (при полностью заряженных аккумуляторных батареях, ветрогенератор и солнечные модули не работают).
2. Номинальное выходное напряжение – 220/380 В.
3. Установка должна обеспечивать возможность легкого монтажа и демонтажа на объекте Заказчика.
4. Напряжение аккумуляторного блока энергоустановки – 48 В.
5. Глубина разряда аккумуляторного блока – 80%.
6. Подключение резервного источника питания через АВР.
7. Максимальное потребление электроэнергии по объектам:

Потребление электроэнергии и среднесуточная мощность

№ п/п	Максимальное потребление электроэнергии в сутки (зимний период), кВт*ч/сут.	Максимальное потребление электроэнергии месяц (зимний период), кВт*ч/мес.
1	10,1	1584

8. Местоположение объекта – Ханты-Мансийский автономный округ, Нефтеюганский район.
9. Тип объекта- Крановый узел насосной станции с сопутствующим оборудованием

Мощности потребителей крановых узлов магистрального газопровода

Оборудование	Потребляемая мощность, кВт	Напряжение, В
Привод задвижки	5	220
Контрольно-измерительные приборы и автоматика	0,08	220
Связь	1,4	220
Пожарная сигнализация	0,5	220
Шкаф технических средств охраны	1,0	220
Щит собственных нужд	1,26	220
Освещение площадки	0,075	220
Освещение укрытия	0,018	220
Прочие потребители	1,1	220
Итого	10,433	

**Объемы потребления электроэнергии и уровни электрических нагрузок потребителей
крановых узлов за 2018**

Месяц	Объем потребления электроэнергии, кВт*ч	Максимальные значения нагрузки, кВт	Максимальное значение нагрузки, в % от суммарной номинальной мощности	Минимальное значение нагрузки, кВт	Минимальное значение нагрузки, в % от суммарной номинальной мощности
Янв.	1584	10,1	96,8	1,512	14,49
Фев.	1443,3	9,64	92,4	1,432	13,73
Март	1248,7	9,12	87,4	0,9	8,63
Апр.	1034,2	8,87	85	0,875	8,39
Май	993,4	7,64	73,2	1,231	11,8
Июнь	987,5	7,55	72,4	1,111	10,64
Июль	1020,3	8,55	82	1,055	10,1
Авг.	1064,1	8,67	83,1	1,132	10,9
Сент.	1150,3	8,99	86,2	0,967	9,3
Окт.	1270,4	9,45	90,6	0,785	7,5
Нояб.	1239,0	9,33	89,4	0,654	6,3
Дек.	1384,2	9,44	90,5	1,325	12,7
Год	12835,4	10,1	96,8	0,654	6,3

Зимние и летние суточные графики нагрузки крановых узлов за 23 января и 17 августа 2018

Зимний период (кВт)		Летний период (кВт)	
0	6,20	0	4,5
1	4,50	1	4,5
2	4,50	2	4,5
3	4,50	3	4,5
4	4,50	4	2,5
5	4,50	5	2,5
6	4,50	6	2,5
7	4,50	7	2,5
8	4,50	8	3,2
9	3,90	9	3,2
10	4,20	10	5,1
11	6,20	11	5,1
12	3,20	12	4,9
13	5,20	13	2,5
14	5,30	14	2,5
15	5,60	15	3,2
16	10,10	16	4,1
17	9,20	17	4,5
18	9,10	18	4,5
19	8,90	19	5,1
20	6,50	20	5,1
21	4,50	21	5,5
22	4,50	22	6,1
23	4,50	23	6,2
24	4,50	24	6,3

Приложение В - Статистические данные скоростей ветра и прихода солнечной радиации

Рисунок В1- Данные скоростей ветра за 2010- 2018 г [39]

Parameter(s):														
WS10M_MIN	MERRA2 1/2x1/2 Minimum Wind Speed at 10 Meters (m/s)													
WS10M	MERRA2 1/2x1/2 Wind Speed at 10 Meters (m/s)													
WS10M_MAX	MERRA2 1/2x1/2 Maximum Wind Speed at 10 Meters (m/s)													
WS10M_RANGE	MERRA2 1/2x1/2 Wind Speed Range at 10 Meters (m/s)													
PARAMETER	YEAR	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANN
-END HEADER-														
WS10M_MIN	2010	1.93	1.54	1.71	1.37	1.28	1.33	1.13	1.28	1.34	1.85	2.12	1.70	1.55
WS10M_MIN	2011	2.12	1.80	2.40	1.79	1.23	1.17	0.96	1.24	1.39	1.35	1.85	1.96	1.60
WS10M_MIN	2012	1.69	1.53	1.80	1.66	1.37	0.94	0.84	1.08	1.41	1.59	1.49	1.72	1.43
WS10M_MIN	2013	1.73	1.68	1.62	1.43	1.33	1.14	1.05	1.12	1.34	1.80	1.86	2.24	1.53
WS10M_MIN	2014	1.52	1.72	2.07	1.83	1.25	1.28	1.01	0.93	1.29	1.61	1.94	2.03	1.54
WS10M_MIN	2015	2.04	2.21	1.98	1.45	1.27	1.15	1.36	1.00	1.21	1.41	1.61	1.79	1.54
WS10M_MIN	2016	2.14	2.03	1.66	1.37	1.27	1.22	1.11	1.07	1.15	1.22	1.37	1.81	1.45
WS10M_MIN	2017	1.92	2.34	2.43	1.73	1.26	1.24	0.93	1.17	1.27	1.52	1.65	1.79	1.60
WS10M_MIN	2018	2.21	1.34	1.97	1.53	1.42	1.20	1.21	1.20	1.35	1.64	1.46	1.97	1.54
WS10M_MAX	2010	3.13	3.14	3.70	3.03	3.05	3.08	2.41	2.78	2.86	2.98	3.92	3.23	3.11
WS10M_MAX	2011	3.24	3.19	4.37	3.99	3.25	2.63	2.59	2.54	2.68	2.62	3.32	3.00	3.12
WS10M_MAX	2012	2.61	2.78	3.49	3.85	3.12	2.29	2.19	2.54	2.86	2.94	3.06	2.84	2.88
WS10M_MAX	2013	2.81	3.37	3.66	3.33	3.33	2.50	2.29	2.25	2.55	3.51	3.40	3.54	3.04
WS10M_MAX	2014	2.85	2.74	4.10	3.73	3.41	2.96	2.71	2.44	2.81	3.07	3.47	3.24	3.13
WS10M_MAX	2015	3.65	3.85	3.77	3.19	2.96	2.57	3.07	2.47	2.61	2.95	2.63	3.11	3.07
WS10M_MAX	2016	3.27	3.58	3.74	2.86	3.12	2.75	2.34	2.42	2.55	2.18	2.92	3.29	2.92
WS10M_MAX	2017	3.26	3.86	3.83	3.77	3.60	2.74	2.29	2.57	2.71	2.75	2.87	2.99	3.10
WS10M_MAX	2018	3.53	2.67	4.11	3.42	3.50	2.73	2.59	2.77	2.80	3.19	3.18	3.12	3.14
WS10M_RANGE	2010	1.20	1.60	1.99	1.66	1.77	1.75	1.28	1.50	1.53	1.13	1.80	1.53	1.56
WS10M_RANGE	2011	1.12	1.39	1.97	2.20	2.03	1.46	1.63	1.30	1.29	1.27	1.47	1.05	1.51
WS10M_RANGE	2012	0.92	1.26	1.69	2.19	1.75	1.36	1.35	1.47	1.45	1.36	1.57	1.12	1.45
WS10M_RANGE	2013	1.08	1.70	2.04	1.90	2.01	1.36	1.24	1.13	1.21	1.70	1.54	1.29	1.51
WS10M_RANGE	2014	1.33	1.02	2.03	1.90	2.15	1.69	1.70	1.51	1.51	1.47	1.53	1.21	1.59
WS10M_RANGE	2015	1.61	1.63	1.79	1.74	1.69	1.42	1.71	1.47	1.40	1.54	1.02	1.31	1.53
WS10M_RANGE	2016	1.13	1.54	2.08	1.49	1.85	1.53	1.22	1.35	1.41	0.96	1.55	1.48	1.47
WS10M_RANGE	2017	1.34	1.52	1.39	2.04	2.34	1.50	1.36	1.39	1.43	1.23	1.22	1.19	1.50
WS10M_RANGE	2018	1.32	1.34	2.15	1.89	2.08	1.53	1.38	1.56	1.45	1.55	1.72	1.15	1.59
WS10M	2010	2.54	2.37	2.80	2.24	2.24	2.22	1.79	2.02	2.07	2.42	3.03	2.50	2.35
WS10M	2011	2.71	2.54	3.42	2.89	2.26	1.91	1.84	1.89	2.03	2.00	2.59	2.48	2.38
WS10M	2012	2.18	2.15	2.65	2.88	2.28	1.64	1.54	1.80	2.19	2.31	2.34	2.30	2.19
WS10M	2013	2.31	2.62	2.71	2.36	2.41	1.87	1.67	1.73	1.96	2.72	2.71	2.91	2.33
WS10M	2014	2.23	2.26	3.09	2.86	2.40	2.11	1.91	1.75	2.05	2.38	2.70	2.66	2.37
WS10M	2015	2.89	3.08	2.97	2.34	2.13	1.89	2.25	1.78	1.90	2.23	2.12	2.48	2.34
WS10M	2016	2.70	2.85	2.78	2.11	2.27	2.03	1.75	1.75	1.88	1.73	2.18	2.57	2.22
WS10M	2017	2.64	3.16	3.18	2.79	2.44	2.02	1.64	1.88	1.99	2.16	2.28	2.39	2.38
WS10M	2018	2.92	2.04	3.13	2.56	2.55	2.01	1.86	2.01	2.07	2.39	2.38	2.58	2.38

Рисунок В2- Данные среднесуточных скоростей ветра за месяцы: апрель, январь, июль, октябрь [39]

2018 04 01	3.16	2018 01 01	3.39	2018 07 01	1.78	2018 10 01	2.96
2018 04 02	3.14	2018 01 02	3.66	2018 07 02	2.63	2018 10 02	2.46
2018 04 03	2.45	2018 01 03	3.58	2018 07 03	2.16	2018 10 03	2.49
2018 04 04	4.98	2018 01 04	3.17	2018 07 04	1.34	2018 10 04	2.22
2018 04 05	3.21	2018 01 05	3.21	2018 07 05	1.65	2018 10 05	2.68
2018 04 06	2.59	2018 01 06	2.94	2018 07 06	2.13	2018 10 06	2.84
2018 04 07	3.01	2018 01 07	3.16	2018 07 07	2.20	2018 10 07	3.46
2018 04 08	2.08	2018 01 08	3.58	2018 07 08	2.24	2018 10 08	2.14
2018 04 09	1.89	2018 01 09	4.88	2018 07 09	2.64	2018 10 09	2.73
2018 04 10	2.24	2018 01 10	3.40	2018 07 10	1.07	2018 10 10	2.89
2018 04 11	4.02	2018 01 11	2.13	2018 07 11	1.15	2018 10 11	2.56
2018 04 12	4.13	2018 01 12	3.81	2018 07 12	1.72	2018 10 12	2.37
2018 04 13	2.30	2018 01 13	3.28	2018 07 13	2.89	2018 10 13	2.07
2018 04 14	3.57	2018 01 14	2.29	2018 07 14	2.42	2018 10 14	1.47
2018 04 15	2.91	2018 01 15	3.78	2018 07 15	1.76	2018 10 15	1.11
2018 04 16	2.33	2018 01 16	3.74	2018 07 16	1.20	2018 10 16	3.08
2018 04 17	2.38	2018 01 17	2.66	2018 07 17	1.50	2018 10 17	3.18
2018 04 18	1.95	2018 01 18	1.96	2018 07 18	1.91	2018 10 18	2.13
2018 04 19	3.83	2018 01 19	2.60	2018 07 19	2.25	2018 10 19	1.37
2018 04 20	1.71	2018 01 20	2.74	2018 07 20	2.56	2018 10 20	2.52
2018 04 21	1.59	2018 01 21	2.72	2018 07 21	2.52	2018 10 21	2.08
2018 04 22	1.37	2018 01 22	2.35	2018 07 22	2.15	2018 10 22	2.72
2018 04 23	2.94	2018 01 23	2.15	2018 07 23	2.33	2018 10 23	3.17
2018 04 24	2.90	2018 01 24	1.99	2018 07 24	2.50	2018 10 24	2.44
2018 04 25	2.77	2018 01 25	2.62	2018 07 25	2.07	2018 10 25	2.12
2018 04 26	2.35	2018 01 26	4.22	2018 07 26	2.22	2018 10 26	3.82
2018 04 27	2.26	2018 01 27	5.10	2018 07 27	1.25	2018 10 27	2.93
2018 04 28	1.93	2018 01 28	3.71	2018 07 28	2.14	2018 10 28	2.08
2018 04 29	3.25	2018 01 29	4.61	2018 07 29	2.98	2018 10 29	2.10
2018 04 30	3.57	2018 01 30	2.97	2018 07 30	2.06	2018 10 30	3.80
		2018 01 31	3.17	2018 07 31	2.40	2018 10 31	2.72

Таблица В1- Данные суммарных месячных значений прихода солнечной радиации с 2010 по 2018 [39]

Год	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
2010	11,78	39,68	83,08	131,44	132,37	176,08	152,83	114,7	70,37	35,96	13,33	6,2
2011	12,71	39,37	95,79	128,34	172,98	159,96	162,44	112,84	78,43	35,34	14,57	6,2
2012	9,3	43,09	87,11	117,8	146,94	190,96	163,68	122,45	72,85	30,38	14,26	5,89
2013	8,99	33,48	78,43	94,86	141,05	153,45	183,21	122,76	64,17	27,59	7,44	2,79
2014	8,06	33,79	68,82	101,99	143,53	179,49	144,15	112,22	63,24	22,63	11,16	3,41
2015	9,3	28,21	81,53	121,21	155,62	174,84	124,62	102,92	64,17	24,49	9,61	2,79
2016	7,75	29,14	81,22	132,37	168,64	171,43	162,75	135,78	68,51	32,86	11,78	3,72
2017	9,3	28,83	75,64	94,55	120,9	163,37	179,18	113,46	57,66	30,07	9,92	3,1
2018	0	38,75	77,19	109,12	125,86	138,88	188,48	99,82	76,57	25,42	9,3	3,41

Приложение С

Таблица С1- Техничко-экономические характеристики ветроэнергетических установок

Тип	Номинальная мощность, кВт	Скорость ветра, м/с				Высота башни, м	Цена ветрогенератора, тыс. руб. (с НДС)	Цена. башни, тыс. руб. (с НДС)	Ресурс, лет
		Минимальная	Номинальная	Максимальная рабочая	Максимальная (буревая)				
BWC Excel 10	10,0	2,5	12,0	20	60	49	1859,18	1404,19	30
LOW WIND 1 kW-48V	1,0	2,5	9,0	25	40	12	85,68	78,6	15
LOW WIND 2,5 kW-48V	2,5	2,5	10,0	25	50	12	131,88	78,6	15
VAWT2	2,0	1,8	10,0	45	45	12	320,76	78,6	20
VAWT3	3,0	1,8	12,0	45	45	12	510,84	78,6	20
SW-2,5 KW	2,5	2,5	11,5	-	40	12	200,00	78,6	20
ANTARIS 2,5 kW	2,5	2,2	11,0	-	58	12	200,00	-	-
ANTARIS 3,5 kW	3,5	2,2	11,0	-	58	12	300,00	-	-
ANTARIS 4,5 kW	4,5	2,2	10,5	-	58	12	400,00	-	-
ANTARIS 6,5 kW	6,5	1,8	10,0	-	58	12	600,00	-	-
ANTARIS 9,5 kW	9,5	1,8	11,0	-	58	12	800,00	-	-

Таблица С2 – Результаты расчета КИУМ ветроэнергетических установок

Тип	Номинальная мощность, кВт	Высота башни, м	Ном. скорость, м/с	Среднегодовая скорость ветра, приведенная к высоте башни, м/с	Мощность ВЭУ при среднегодовой скорости ветра на высоте башни, Вт	Количество ВЭУ для покрытия среднегодовой нагрузки, шт.	Мощность ВЭС при среднегодовой скорости ветра, кВт	Выработка ВЭС в течение года при среднегодовой скорости ветра, кВтч/год	Выработка ВЭС в течение года при номинальной скорости ветра, кВтч/год	КИУМ, %
BWC Excel 10	10,00	49,00	12,00	4,31	410	4	1,64	14366,4	350400	4,10
LOW WIND 1 kW-48V	1,00	12,00	9,00	2,88	90	18	1,62	14191,2	157680	9,00
LOW WIND 2,5 kW-48V	2,50	12,00	10,00	2,88	210	8	1,68	14716,8	175200	8,40
VAWT2	2,00	12,00	10,00	2,88	150	11	1,65	14454	192720	7,50
VAWT3	3,00	12,00	12,00	2,88	190	9	1,71	14979,6	236520	6,33
SW-2,5 KW	2,50	12,00	11,50	2,88	280	6	1,68	14716,8	131400	11,20
ANTARIS 2,5 kW	2,50	12,00	11,00	2,88	50	33	1,65	14454	722700	2,00
ANTARIS 3,5 kW	3,50	12,00	11,00	2,88	50	33	1,65	14454	1011780	1,43
ANTARIS 4,5 kW	4,50	12,00	10,50	2,88	110	15	1,65	14454	591300	2,44
ANTARIS 6,5 kW	6,50	12,00	10,00	2,88	210	8	1,68	14716,8	455520	3,23
ANTARIS 9,5 kW	9,50	12,00	11,00	2,88	250	7	1,75	15330	582540	2,63

Приложение D – Технические и экономические характеристики ДГУ и АБ

Таблица D1 – Техничко-экономические характеристики дизель-генераторной установки GENBOX KBT15M-3000 [46]

Параметр	Значение
Тип	GENBOX KBT15M-3000
Номинальная мощность, кВт	14,9
Максимальная мощность, кВт	16,5
Удельный расход топлива, л/кВт·ч	0,31
Расход топлива при 100% нагрузке, л/ч	5,03
Расход топлива при 75% нагрузке, л/ч	3,78
Расход топлива при 50% нагрузке, л/ч	2,49
Ресурс, ч	20000
Цена, руб (с НДС)	641300
Средняя стоимость технического обслуживания, тыс. руб (с НДС)	15000
Периодичность обслуживания, раз/год	1
Стоимость дизельного топлива в Нефтеюганском районе, руб/л (с НДС) [47]	53,58

Таблица D2 – Технические и экономические характеристики АБ [48]

Параметр	Значение
Модель	Volta GST
Емкость, А·ч	200
Номинальное напряжения, В	12
Глубина разряда, %	80
Срок службы	15
Цена, руб (с НДС)	26,5
Тип	Гелиевый
Диапазон рабочих температур	-20°C... +60°C

Приложение Е - Результаты расчета значений выработки электроэнергии ветрогенераторами на основе подробной информации о получении ресурсов в рассматриваемой области

Рисунок Е1 - Данные о скорости ветра на высоте 12 метров за период 2014-2019 гг. Снимок экрана Excel [49]

December	Day	Time	Wind speed (m/s) 2014	2015	2016	2017	2018	2019	Average	November	Day	Time	Wind speed	2015	2016	2017	2018	2019	Average
	31.12.	23:30	2	2	4	4	6	4	3,67		30.11.	23:30	2	3	0	2	2	3	2,00
	31.12.	23:00	2	3	5	4	6	5	4,17		30.11.	23:00	4	3	0	2	2	3	2,33
	31.12.	22:30	2	4	4	5	6	4	4,17		30.11.	22:30	3	3	0	2	2	3	2,17
	31.12.	22:00	2	3	4	5	6	5	4,17		30.11.	22:00	4	3	0	2	2	4	2,50
	31.12.	21:30	2	3	4	5	6	4	4,00		30.11.	21:30	5	3	0	2	1	6	2,83
	31.12.	21:00	3	2	4	4	6	5	4,00		30.11.	21:00	5	2	0	3	2	6	3,00
	31.12.	20:30	3	3	4	4	6	5	4,17		30.11.	20:30	6	2	0	2	2	6	3,00
	31.12.	20:00	3	2	4	3	6	6	4,00		30.11.	20:00	4	2	0	2	1	6	2,50
	31.12.	19:30	3	2	4	4	6	6	4,17		30.11.	19:30	5	2	1	2	1	6	2,83
	31.12.	19:00	3	2	4	4	5	6	4,00		30.11.	19:00	5	3	1	2	0	5	2,67
	31.12.	18:30	3	2	3	3	4	7	3,67		30.11.	18:30	5	3	2	2	0	7	3,17
	31.12.	18:00	3	2	3	4	4	7	3,83		30.11.	18:00	6	4	1	1	0	6	3,00
	31.12.	17:30	3	1	3	4	4	6	3,50		30.11.	17:30	6	3	1	1	2	6	3,17
	31.12.	17:00	3	1	3	5	4	7	3,83		30.11.	17:00	5	3	2	1	2	6	3,17
	31.12.	16:30	3	1	3	5	4	7	3,83		30.11.	16:30	5	3	2	1	3	6	3,33
	31.12.	16:00	3	2	3	4	5	6	3,83		30.11.	16:00	5	3	2	1	2	5	3,00
	31.12.	15:30	3	2	2	5	5	5	3,67		30.11.	15:30	6	3	3	2	2	5	3,50
	31.12.	15:00	3	1	2	5	4	6	3,50		30.11.	15:00	6	3	3	1	2	7	3,67
	31.12.	14:30	3	1	2	5	4	6	3,50		30.11.	14:30	6	3	3	1	2	6	3,50

Рисунок Е2 – Значение скоростей ветра приведенные к усредненному году. Снимок экрана Excel

	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
0:00	3,2	2,3	2,7	3,5	3,5	2,3	4,0	2,3	1,7	3,7	2,0	3,7
0:30	2,7	2,3	2,5	3,7	3,7	2,8	3,5	2,3	1,8	3,7	2,3	4,2
1:00	2,8	2,5	2,8	3,5	3,2	2,5	3,2	2,2	2,0	3,5	2,2	4,2
1:30	3,0	3,0	2,8	4,0	3,2	2,7	3,3	2,0	2,3	3,7	2,5	4,2
2:00	2,8	3,3	2,8	3,2	2,8	2,7	3,3	2,3	2,5	3,5	2,8	4,0
2:30	3,0	3,8	3,0	3,2	3,0	2,3	3,7	2,3	2,5	3,8	3,0	4,0
3:00	2,7	3,5	3,2	3,0	2,8	2,5	3,7	2,3	2,2	3,5	3,0	4,2
3:30	2,7	3,3	3,3	2,8	2,5	3,2	3,3	2,5	2,3	3,7	2,5	4,0
4:00	3,3	2,8	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,2	2,0	3,3	2,8	4,2
4:30	3,2	3,5	3,3	2,7	3,2	3,2	3,2	2,3	2,2	3,5	2,7	4,0
5:00	3,3	3,2	3,7	4,0	3,0	3,7	3,3	2,7	2,5	3,5	3,2	3,7
5:30	3,3	3,5	3,8	3,2	3,0	3,5	3,5	2,7	2,8	3,7	3,0	3,8
6:00	2,8	3,7	4,2	4,0	3,3	4,0	3,0	2,5	2,8	3,7	3,2	3,5
6:30	2,7	3,8	4,7	4,0	4,0	4,5	3,2	3,2	3,0	3,5	3,2	3,8
7:00	2,7	4,2	4,3	4,2	4,0	3,7	2,8	3,2	3,3	3,7	3,3	3,8

Таблица Е1 – Повторяемость градаций скоростей за каждый месяц усредненного года

Graduation m/s	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
2,5	95	103	23	57	73	120	131	140	142	77	76	99
2,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,7	98	143	34	85	77	102	137	114	146	80	96	162
2,8	100	146	48	84	104	131	132	128	129	105	103	133
2,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	128	122	50	76	132	123	141	103	121	121	133	130
3,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3,2	135	141	79	96	132	123	93	95	113	129	106	168
3,3	122	126	84	89	137	113	90	72	81	131	102	125
3,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3,5	133	137	93	111	118	129	66	69	75	130	99	117
3,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3,7	93	70	116	90	111	121	56	35	54	109	81	111
3,8	81	56	117	106	112	84	28	31	49	96	64	83
3,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	65	25	136	107	79	40	19	26	27	90	70	69
4,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4,2	36	21	111	79	83	47	13	16	20	52	47	45
4,3	19	12	110	69	65	26	10	16	11	44	26	29
4,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4,5	29	7	94	63	40	20	9	17	4	36	18	15
4,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4,7	16	2	81	72	35	11	5	9	5	30	11	6
4,8	7	1	66	56	18	11	2	7	1	11	7	3
4,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	7	3	62	41	11	7	2	3	3	11	7	2
5,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5,2	1	0	37	20	11	3	2	3	2	2	4	0
5,3	0	0	38	23	1	0	0	0	4	1	6	0
5,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5,5	0	0	26	11	4	1	0	0	2	0	4	0

Таблица Е2 – Вероятность градации скорости ветра в процентах за каждый месяц усреднённого года

Graduation m/s	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
2,50	6,52	7,72	1,57	3,99	4,93	8,38	8,89	9,47	9,94	5,22	5,44	6,72
2,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,70	6,73	10,72	2,32	5,96	5,20	7,12	9,30	7,71	10,22	5,43	6,88	11,00
2,80	6,86	10,94	3,27	5,89	7,03	9,15	8,96	8,66	9,03	7,12	7,38	9,03
2,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3,00	8,79	9,15	3,41	5,33	8,92	8,59	9,57	6,97	8,47	8,21	9,53	8,83
3,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3,20	9,27	10,57	5,39	6,73	8,92	8,59	6,31	6,43	7,91	8,75	7,59	11,41
3,30	8,37	9,45	5,73	6,24	9,26	7,89	6,11	4,87	5,67	8,89	7,31	8,49
3,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3,50	9,13	10,27	6,34	7,78	7,97	9,01	4,48	4,67	5,25	8,82	7,09	7,94
3,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3,70	6,38	5,25	7,91	6,31	7,50	8,45	3,80	2,37	3,78	7,39	5,80	7,54
3,80	5,56	4,20	7,98	7,43	7,57	5,87	1,90	2,10	3,43	6,51	4,58	5,63
3,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4,00	4,46	1,87	9,28	7,50	5,34	2,79	1,29	1,76	1,89	6,11	5,01	4,68
4,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4,20	2,47	1,57	7,57	5,54	5,61	3,28	0,88	1,08	1,40	3,53	3,37	3,05
4,30	1,30	0,90	7,50	4,84	4,39	1,82	0,68	1,08	0,77	2,99	1,86	1,97
4,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4,50	1,99	0,52	6,41	4,41	2,70	1,40	0,61	1,15	0,28	2,44	1,29	1,02
4,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4,70	1,10	0,15	5,53	5,05	2,36	0,77	0,34	0,61	0,35	2,04	0,79	0,41
4,80	0,48	0,07	4,50	3,92	1,22	0,77	0,14	0,47	0,07	0,75	0,50	0,20
4,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5,00	0,48	0,22	4,23	2,87	0,74	0,49	0,14	0,20	0,21	0,75	0,50	0,14
5,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5,20	0,07	0,00	2,52	1,40	0,74	0,21	0,14	0,20	0,14	0,14	0,29	0,00
5,30	0,00	0,00	2,59	1,61	0,07	0,00	0,00	0,00	0,28	0,07	0,43	0,00
5,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5,50	0,00	0,00	1,77	0,77	0,27	0,07	0,00	0,00	0,14	0,00	0,29	0,00

Таблица ЕЗ – Число часов определённой градации ветра

Graduation m/s	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Year
2,5	48,51	51,89	11,67	28,76	36,70	60,34	66,17	70,47	71,55	38,87	39,20	50,00	574,12
2,6													
2,7	50,04	72,04	17,26	42,89	38,71	51,28	69,20	57,39	73,56	40,38	49,51	81,82	644,08
2,8	51,06	73,55	24,36	42,38	52,28	65,87	66,67	64,43	65,00	53,00	53,12	67,18	678,90
2,9													
3	65,36	61,46	25,38	38,35	66,36	61,84	71,22	51,85	60,97	61,07	68,60	65,66	698,11
3,1													
3,2	68,94	71,03	40,09	48,44	66,36	61,84	46,97	47,82	56,93	65,11	54,67	84,86	713,06
3,3	62,30	63,47	42,63	44,91	68,87	56,82	45,46	36,24	40,81	66,12	52,61	63,14	643,37
3,4													
3,5	67,91	69,01	47,20	56,01	59,32	64,86	33,34	34,73	37,79	65,62	51,06	59,10	645,94
3,6													
3,7	47,49	35,26	58,87	45,41	55,80	60,84	28,29	17,62	27,21	55,02	41,78	56,07	529,64
3,8	41,36	28,21	59,38	53,48	56,30	42,23	14,14	15,60	24,69	48,46	33,01	41,92	458,79
3,9													
4	33,19	12,59	69,02	53,99	39,71	20,11	9,60	13,09	13,60	45,43	36,10	34,85	381,29
4,1													
4,2	18,38	10,58	56,33	39,86	41,72	23,63	6,57	8,05	10,08	26,25	24,24	22,73	288,42
4,3	9,70	6,04	55,83	34,81	32,68	13,07	5,05	8,05	5,54	22,21	13,41	14,65	221,05
4,4													
4,5	14,81	3,53	47,71	31,79	20,11	10,06	4,55	8,56	2,02	18,17	9,28	7,58	178,14
4,6													
4,7	8,17	1,01	41,11	36,33	17,59	5,53	2,53	4,53	2,52	15,14	5,67	3,03	143,16
4,8	3,57	0,50	33,50	28,26	9,05	5,53	1,01	3,52	0,50	5,55	3,61	1,52	96,12
4,9													
5	3,57	1,51	31,47	20,69	5,53	3,52	1,01	1,51	1,51	5,55	3,61	1,01	80,49
5,1													
5,2	0,51		18,78	10,09	5,53	1,51	1,01	1,51	1,01	1,01	2,06		43,02
5,3			19,29	11,60	0,50				2,02	0,50	3,09		37,01
5,4													
5,5			13,20	5,55	2,01	0,50			1,01	0,00	2,06	0,00	24,33
Sum (hours)	594,89	561,68	713,04	673,58	675,13	609,39	472,77	444,99	498,31	633,46	546,70	655,10	7079,04

Приложение F – Список оборудования

Структура 1

Таблица F1 – Конфигурация А, 1 ВЭУ

Оборудование	Количество	Срок службы	Цена с НДС, РУБ	Итоговая цена, РУБ	Обслуживание	
					Периодичность	Цена, РУБ
ВЭУ SW-2,5 кВт	1	20 лет	278600	278600	1 (раз в год)	10000
VOLTA GST	28	10 лет	26500	742000	-	-
Стойки для батарей	6	-	7200	43200	-	-
ДГУ GENBOX KBT15M-3000	2	40000 часов	250000	500000	1 (после каждые 8760 ч. работы)	15000
Automatic Transfer Switch OptiSave L-220	2	-	15000	30000	-	-
Charge controller Dominator MPPT 250/60	1	-	50000	50000	-	-
Power Block Multi-Brand 5kW (48V)	3	-	56000	168000		
Total	-	-	-	1811800	-	-

Таблица F2 – Конфигурация А, 2 ВЭУ

Оборудование	Количество	Срок службы	Цена с НДС, РУБ	Итоговая цена, РУБ	Обслуживание	
					Периодичность	Цена, РУБ
ВЭУ SW-2,5 кВт	2	20 лет	278600	557200	1 (раз в год)	20000
VOLTA GST	28	10 лет	26500	742000	-	-
Стойки для батарей	6	-	7200	43200	-	-
ДГУ GENBOX KBT15M-3000	2	40000 часов	250000	500000	1 (после каждых 8760 ч. работы)	15000
ABP OptiSave L-220	2	-	15000	30000	-	-
Контроллер заряда Dominator MPPT 250/60	2	-	50000	100000	-	-
ИБП EATON 5kW (48V)	3	-	56000	168000		
Итог	-	-	-	2140400	-	-

Таблица F3 – Конфигурация А, 3 ВЭУ

Оборудование	Количество	Срок службы	Цена с НДС, РУБ	Итоговая цена, РУБ	Обслуживание	
					Периодичность	Цена, РУБ
ВЭУ SW-2,5 кВт	3	20 лет	278600	835800	1 (раз в год)	30000
VOLTA GST	28	10 лет	26500	742000	-	-

Стойки для батарей	6	-	7200	43200	-	-
ДГУ GENBOX KBT15M-3000	2	40000 часов	250000	500000	1 (после каждые 8760 ч. работы)	15000
АВР OptiSave L-220	2	-	15000	30000	-	-
Контроллер заряда Dominator MPPT 250/60	3	-	50000	150000	-	-
ИБП EATON 5kW (48V)	3	-	56000	168000		
Итого	-	-	-	2469000	-	-

Structure 2

Таблица F4– Конфигурация А, 4 ВЭУ

Оборудование	Количество	Срок службы	Цена с НДС, РУБ	Итоговая цена, РУБ	Обслуживание	
					Периодичность	Цена, РУБ
ВЭУ SW-2,5 кВт	4	20 лет	278600	1114400	1 (раз в год)	40000
VOLTA GST	28	10 лет	26500	742000	-	-
Стойки для батарей	6	-	7200	43200	-	-
ДГУ GENBOX KBT15M-3000	1	40000 часов	250000	250000	1 (после каждые 8760 ч. работы)	15000
АВР OptiSave L-220	1	-	15000	30000	-	-

Инвертер MAP SIN PRO 15 kW (48V)	1	-	138800	138800	-	-
Балластное сопротивление RBZ-028-1K4	1	-	10000	10000	-	-
Итого	-	-	-	2328400	-	-

Таблица F5– Конфигурация А, 5 ВЭУ

Оборудование	Количество	Срок службы	Цена с НДС, РУБ	Итоговая цена, РУБ	Обслуживание	
					Периодичность	Цена, РУБ
ВЭУ SW-2,5 кВт	5	20 лет	278600	1 393 000	1 (раз в год)	50000
VOLTA GST	28	10 лет	26500	742000	-	-
Стойки для батарей	6	-	7200	43200	-	-
ДГУ GENBOX KBT15M-3000	1	40000 часов	250000	500000	1 (после каждых 8760 ч. работы)	15000
АВР OptiSave L-220	1	-	15000	30000	-	-
Инвертор MAP SIN PRO 15 kW (48V)	1	-	138800	138800	-	-
Балластное сопротивление RBZ-019-2K2	1	-	15000	30000	-	-
Total	-	-	-	2627000	-	-

Таблица F6– Конфигурация А, 6 ВЭУ

Оборудование	Количество	Срок службы	Цена с НДС, РУБ	Итоговая цена, РУБ	Обслуживание	
					Периодичность	Цена, РУБ
ВЭУ SW-2,5 кВт	6	20 лет	278600	1 671600	1 (раз в год)	60000
VOLTA GST	28	10 лет	26500	742000	-	-
Стойки для батарей	6	-	7200	43200	-	-
ДГУ GENBOX КВТ15М-3000	1	40000 часов	250000	250000	1 (после каждых 8760 ч. работы)	15000
АВР OptiSave L-220	1	-	15000	30000	-	-
Инвертор MAP SIN PRO 15 kW (48V)	1	-	138800	138800	-	-
Балластное сопротивление RB4-056-3K2	1	-	30000	30000	-	-
Итого	-	-	-	3 296 900	-	-

Структура 3

Таблица F7– Конфигурация В, без ВЭУ

Оборудование	Количество	Срок службы	Цена с НДС, РУБ	Итоговая цена, РУБ	Обслуживание	
					Периодичность	Цена, РУБ
VOLTA GST	28	20 лет	26500	742000	-	-
Стойки для батарей	6	-	7200	43200	-	-
ДГУ GENBOX KBT15M-3000	2	40000 часов	250000	500000	1 (после каждых 8760 ч. работы)	15000
АВР OptiSave L-220	1	-	15000	30000	-	-
Инвертор MAP SIN EX 15 kW (48V)	1	-	138800	138800	-	-
Итого	-	-	-	1454000	-	-

Приложение Г – Экономические модели

Таблица G1 – Конфигурация А (1 ВЭУ)

Конфигурация. А, 1 ВЭУ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Капитальные затраты	1811800																				
Ежегодные эксплуатационные расходы		242460	256959,108	272325,3	288610,3	305869,2	324160,2	343545	364089	385861,5	408936	433390,4	459307,1	486773,7	515882,7	546732,5	579427,1	614076,9	650798,7	689716,4	730961,5
Затраты на замену оборудования							334240,9				1251466		473590,6						671037,2		
Амортизация		90590	172121	163062	154003	144944	159759,3	174574,7	162105,1	149635,5	262312,5	374989,5	384849,6	418389,2	366090,6	313791,9	261493,3	209194,6	492414,5	775634,5	387817,2
Сумма затрат		242460	256959,108	272325,3	288610,3	305869,2	324160,2	343545	364089	385861,5	408936	433390,4	459307,1	486773,7	515882,7	546732,5	579427,1	614076,9	650798,7	689716,4	730961,5
Цена за электроэнергию		28	29,6744	31,44893	33,32958	35,32268	37,43498	39,67359	42,04607	44,56043	47,22514	50,0492	53,04215	56,21407	59,57567	63,13829	66,91396	70,91542	75,15616	79,6505	84,4136
Доход		403743,2	427887,0434	453474,7	480592,5	509331,9	539790	572069,4	606279,1	642534,6	680958,2	721679,5	764835,9	810573,1	859045,4	910416,3	964859,2	1022558	1083707	1148512	1217193
Доход до налога		70693,2	-1193,06464	18087,43	37979,16	58518,69	55870,41	53949,72	80085,11	107037,7	9709,752	-86700,3	-79320,7	-94589,8	-22927,9	49891,87	123938,8	199286,3	-59506,5	-316838	98414,75
Налог		14138,64	-238,612928	3617,485	7595,832	11703,74	11174,08	10789,94	16017,02	21407,54	1941,95	-17340,1	-15864,1	-18918	-4585,58	9978,375	24787,76	39857,26	-11901,3	-63367,7	19682,95
Доход с вычетом налога		56554,56	-954,451712	14469,94	30383,33	46814,96	44696,33	43159,78	64068,09	85630,16	7767,802	-69360,3	-63456,6	-75671,8	-18342,3	39913,5	99151,05	159429	-47605,2	-253471	78731,8
Денежный поток	-1811800	147144,6	171166,5483	177531,9	184386,3	191759	-129785	217734,5	226173,2	235265,6	-981386	305629,2	-152198	342717,4	347748,2	353705,4	360644,3	368623,7	-226228	522163,7	466549
ЧПС	-520840																				
Цена для ЧПС=0	31,34	РУБ/кВтч																			

Таблица G2 – Конфигурация А (2 ВЭУ)

Конфигурация. А, 2 ВЭУ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Капитальные затраты	2140400																				
Ежегодные эксплуатационные расходы		176480	187033,504	198218,1	210071,6	222633,8	235947,3	250057	265010,4	280858	297653,3	315453	334317,1	354309,2	375496,9	397951,6	421749,2	446969,8	473698,5	502025,7	532046,9
Затраты на замену оборудования										397861	1251466								671037,2		
Амортизация		107020	203338	192636	181934	171232	160530	149828	139126	164593,2	315207	423075,4	380767,9	338460,3	296152,8	253845,2	211537,7	169230,2	462441,2	755652,2	377826,1
Сумма затрат		176480	187033,504	198218,1	210071,6	222633,8	235947,3	250057	265010,4	280858	297653,3	315453	334317,1	354309,2	375496,9	397951,6	421749,2	446969,8	473698,5	502025,7	532046,9
Цена за электроэнергию		28	29,6744	31,44893	33,32958	35,32268	37,43498	39,67359	42,04607	44,56043	47,22514	50,0492	53,04215	56,21407	59,57567	63,13829	66,91396	70,91542	75,15616	79,6505	84,4136
Доход		403743,2	427887,0434	453474,7	480592,5	509331,9	539790	572069,4	606279,1	642534,6	680958,2	721679,5	764835,9	810573,1	859045,4	910416,3	964859,2	1022558	1083707	1148512	1217193
Доход до налога		120243,2	37515,53936	62620,58	88586,92	115466,1	143312,6	172184,4	202142,8	197083,4	68097,9	-16848,9	49751,01	117803,6	187395,7	258619,4	331572,4	406357,9	147567	-109166	307320,5
Налог		24048,64	7503,107872	12524,12	17717,38	23093,22	28662,52	34436,88	40428,55	39416,69	13619,58	-3369,78	9950,202	23560,72	37479,14	51723,89	66314,47	81271,58	29513,4	-21833,1	61464,1
Доход с вычетом налога		96194,56	30012,43149	50096,46	70869,54	92372,86	114650,1	137747,5	161714,2	157666,8	54478,32	-13479,1	39800,81	94242,86	149916,6	206895,5	265257,9	325086,3	118053,6	-87332,4	245856,4
Денежный поток	-2140400	203214,6	233350,4315	242732,5	252803,5	263604,9	275180,1	287575,5	300840,2	-75601	-881781	409596,3	420568,7	432703,2	446069,3	460740,8	476795,6	494316,5	-90542,4	668319,8	623682,5
ЧПС	68724,53																				
Цена для ЧПС=0	27,559	РУБ/кВтч																			

Таблица G3 – Конфигурация А (3 ВЭУ)

Конфигурация. А, 3 ВЭУ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Капитальные затраты	2469000																				
Ежегодные эксплуатационные расходы		127530	135156,294	143238,6	151804,3	160882,2	170503	180699	191504,8	202956,8	215093,7	227956,3	241588	256035	271345,9	287572,4	304769,2	322994,4	342309,5	362779,6	384473,8
Затраты на замену оборудования											1251466						597446,1				
Амортизация		123450	234555	222210	209865	197520	185175	172830	160485	148140	260941,6	373743,2	336368,9	298994,6	261620,3	224245,9	336233,2	448220,4	336165,3	224110,2	112055,1
Сумма затрат		127530	135156,294	143238,6	151804,3	160882,2	170503	180699	191504,8	202956,8	215093,7	227956,3	241588	256035	271345,9	287572,4	304769,2	322994,4	342309,5	362779,6	384473,8
Цена за электроэнергию		28	29,6744	31,44893	33,32958	35,32268	37,43498	39,67359	42,04607	44,56043	47,22514	50,0492	53,04215	56,21407	59,57567	63,13829	66,91396	70,91542	75,15616	79,6505	84,4136
Доход		403743,2	427887,0434	453474,7	480592,5	509331,9	539790	572069,4	606279,1	642534,6	680958,2	721679,5	764835,9	810573,1	859045,4	910416,3	964859,2	1022558	1083707	1148512	1217193
Доход до налога		152763,2	58175,74936	88026,05	118923,2	150929,7	184112	218540,3	254289,3	291437,8	204922,9	119980	186879	255543,5	326079,2	398598	323856,9	251343	405232	561622,7	720664,6
Налог		30552,64	11635,14987	17605,21	23784,63	30185,94	36822,4	43708,07	50857,86	58287,56	40984,59	23996	37375,8	51108,71	65215,85	79719,6	64771,37	50268,61	81046,4	112324,5	144132,9
Доход с вычетом налога		122210,6	46540,59949	70420,84	95138,53	120743,8	147289,6	174832,3	203431,4	233150,2	163938,3	95984	149503,2	204434,8	260863,4	318878,4	259085,5	201074,4	324185,6	449298,1	576531,7
Денежный поток	-2469000	245660,6	281095,5995	292630,8	305003,5	318263,8	332464,6	347662,3	363916,4	381290,2	-826586	469727,3	485872,1	503429,4	522483,7	543124,3	-2127,47	649294,8	660350,9	673408,3	688586,7
ЧПС	453263,8																				
Цена для ЧПС=0	25,19	РУБ/кВтч																			

Таблица G4 - Конфигурация А (4 ВЭУ)

Конфигурация. А, 4 ВЭУ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Капитальные затраты	2328400																				
Ежегодные эксплуатационные расходы		111160	117807,368	124852,2	132318,4	140231,1	148616,9	157504,2	166922,9	176904,9	187483,8	198695,3	210577,3	223169,8	236515,4	250659	265648,4	281534,2	298370	316212,5	335122
Затраты на замену оборудования												1251466									
Амортизация		116420	221198	209556	197914	186272	174630	162988	151346	139704	253208,6	366713,2	330041,9	293370,6	256699,3	220027,9	183356,6	146685,3	110014	73342,65	36671,32
Сумма затрат		111160	117807,368	124852,2	132318,4	140231,1	148616,9	157504,2	166922,9	176904,9	187483,8	198695,3	210577,3	223169,8	236515,4	250659	265648,4	281534,2	298370	316212,5	335122
Цена за электроэнергию		28	29,6744	31,44893	33,32958	35,32268	37,43498	39,67359	42,04607	44,56043	47,22514	50,0492	53,04215	56,21407	59,57567	63,13829	66,91396	70,91542	75,15616	79,6505	84,4136
Доход		403743,2	427887,0434	453474,7	480592,5	509331,9	539790	572069,4	606279,1	642534,6	680958,2	721679,5	764835,9	810573,1	859045,4	910416,3	964859,2	1022558	1083707	1148512	1217193
Доход до налога		176163,2	88881,67536	119066,4	150360,1	182828,9	216543,1	251577,2	288010,2	325925,7	240265,8	156270,9	224216,7	294032,7	365830,7	439729,3	515854,2	594338,3	675322,8	758957,3	845400,1
Налог		35232,64	17776,33507	23813,29	30072,01	36565,77	43308,62	50315,45	57602,05	65185,15	48053,15	31254,18	44843,34	58806,54	73166,14	87945,87	103170,8	118867,7	135064,6	151791,5	169080
Доход с вычетом налога		140930,6	71105,34029	95253,15	120288	146263,1	173234,5	201261,8	230408,2	260740,6	192212,6	125016,7	179373,4	235226,1	292664,6	351783,5	412683,3	475470,6	540258,3	607165,8	676320,1
Денежный поток	-2328400	257350,6	292303,3403	304809,2	318202	332535,1	347864,5	364249,8	381754,2	400444,6	-806045	491730	509415,3	528596,7	549363,9	571811,4	596039,9	622155,9	650272,2	680508,5	712991,4
ЧПС	852457,9																				
Цена для ЧПС=0	22,33	РУБ/кВтч																			

Таблица G5 - Конфигурация А (5 ВЭУ)

Конфигурация. А, 5 ВЭУ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Капитальные затраты	2612000																				
Ежегодные эксплуатационные расходы		86840	92033,032	97536,61	103369,3	109550,8	116101,9	123044,8	130402,9	138201	146465,4	155224	164506,4	174343,9	184769,7	195818,9	207528,9	219939,1	233091,5	247030,3	261802,7
Затраты на замену оборудования											1251466										
Амортизация		130600	248140	235080	222020	208960	195900	182840	169780	156720	268806,6	380893,2	342803,9	304714,6	266625,3	228535,9	190446,6	152357,3	114268	76178,65	38089,32
Сумма затрат		86840	92033,032	97536,61	103369,3	109550,8	116101,9	123044,8	130402,9	138201	146465,4	155224	164506,4	174343,9	184769,7	195818,9	207528,9	219939,1	233091,5	247030,3	261802,7
Цена за электроэнергию		28	29,6744	31,44893	33,32958	35,32268	37,43498	39,67359	42,04607	44,56043	47,22514	50,0492	53,04215	56,21407	59,57567	63,13829	66,91396	70,91542	75,15616	79,6505	84,4136
Доход		403743,2	427887,0434	453474,7	480592,5	509331,9	539790	572069,4	606279,1	642534,6	680958,2	721679,5	764835,9	810573,1	859045,4	910416,3	964859,2	1022558	1083707	1148512	1217193
Доход до налога		186303,2	87714,01136	120858,1	155203,2	190821,1	227788	266184,6	306096,3	347613,7	265686,2	185562,2	257525,6	331514,6	407650,4	486061,5	566883,7	650261,4	736347,3	825303,4	917301,4
Налог		37260,64	17542,80227	24171,62	31040,64	38164,22	45557,61	53236,92	61219,25	69522,73	53137,24	37112,44	51505,12	66302,92	81530,09	97212,29	113376,7	130052,3	147269,5	165060,7	183460,3
Доход с вычетом налога		149042,6	70171,20909	96686,46	124162,5	152656,9	182230,4	212947,7	244877	278090,9	212548,9	148449,8	206020,5	265211,7	326120,4	388849,2	453507	520209,1	589077,8	660242,7	733841,1
Денежный поток	-2612000	279642,6	318311,2091	331766,5	346182,5	361616,9	378130,4	395787,7	414657	434810,9	-770111	529343	548824,4	569926,3	592745,6	617385,1	643953,6	672566,4	703345,8	736421,4	771930,4
ЧПС	884061,9																				
Цена для ЧПС=0	22,53	РУБ/кВтч																			

Таблица G6 - Конфигурация А (6 ВЭУ)

Конфигурация. А, 6 ВЭУ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Капитальные затраты	2905600																				
Ежегодные эксплуатационные расходы		82800	87751,44	92998,98	98560,31	104454,2	110700,6	117320,5	124336,2	131771,6	139651,5	148002,6	156853,2	166233	176173,8	186709	197874,2	209707	222247,5	235537,9	249623,1
Затраты на замену оборудования											1251466										
Амортизация		145280	276032	261504	246976	232448	217920	203392	188864	174336	284954,6	207853,3	187068	166282,6	145497,3	124712	103926,7	83141,32	62355,99	41570,66	20785,33
Сумма затрат		82800	87751,44	92998,98	98560,31	104454,2	110700,6	117320,5	124336,2	131771,6	139651,5	148002,6	156853,2	166233	176173,8	186709	197874,2	209707	222247,5	235537,9	249623,1
Цена за электроэнергию		28	29,6744	31,44893	33,32958	35,32268	37,43498	39,67359	42,04607	44,56043	47,22514	50,0492	53,04215	56,21407	59,57567	63,13829	66,91396	70,91542	75,15616	79,6505	84,4136
Доход		403743,2	427887,0434	453474,7	480592,5	509331,9	539790	572069,4	606279,1	642534,6	680958,2	721679,5	764835,9	810573,1	859045,4	910416,3	964859,2	1022558	1083707	1148512	1217193
Доход до налога		175663,2	64103,60336	98971,71	135056,2	172429,7	211169,4	251356,9	293078,9	336427,1	256352,1	365823,5	420914,8	478057,5	537374,3	598995,4	663058,4	729709,4	799103,3	871403,8	946785,1
Налог		35132,64	12820,72067	19794,34	27011,23	34485,94	42233,87	50271,38	58615,78	67285,42	51270,42	73164,71	84182,95	95611,49	107474,9	119799,1	132611,7	145941,9	159820,7	174280,8	189357
Доход с вычетом налога		140530,6	51282,88269	79177,37	108044,9	137943,7	168935,5	201085,5	234463,1	269141,7	205081,7	292658,8	336731,8	382446	429899,5	479196,3	530446,7	583767,6	639282,6	697123,1	757428
Денежный поток	-2905600	285810,6	327314,8827	340681,4	355020,9	370391,7	386855,5	404477,5	423327,1	443477,7	-761430	500512,1	523799,8	548728,6	575396,8	603908,3	634373,4	666908,9	701638,6	738693,7	778213,4
ЧПС	627580,2																				
Цена для ЧПС=0	23,9	РУБ/кВтч																			

Таблица G7 - Конфигурация В (0 ВЭУ)

Конфигурация. В, 0 ВЭУ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Капитальные затраты	1454000																				
Ежегодные эксплуатационные расходы		307785	326190,543	345696,7	366369,4	388278,3	411497,3	436104,9	462183,9	489822,5	519113,9	550156,9	583056,3	617923,1	654874,9	694036,4	735539,8	779525,1	826140,7	875543,9	927901,4
Затраты на замену оборудования						315381,1					1673119					563734,8					
Амортизация		72700	138130	130860	123590	137345,4	151100,8	141027,4	130954	120880,7	278119,2	435357,7	391822	348286,2	304750,4	373961,6	274052,3	219241,9	164431,4	109620,9	54810,47
Сумма затрат		307785	326190,543	345696,7	366369,4	388278,3	411497,3	436104,9	462183,9	489822,5	519113,9	550156,9	583056,3	617923,1	654874,9	694036,4	735539,8	779525,1	826140,7	875543,9	927901,4
Цена за электроэнергию		28	29,6744	31,44893	33,32958	35,32268	37,43498	39,67359	42,04607	44,56043	47,22514	50,0492	53,04215	56,21407	59,57567	63,13829	66,91396	70,91542	75,15616	79,6505	84,4136
Доход		403743,2	427887,0434	453474,7	480592,5	509331,9	539790	572069,4	606279,1	642534,6	680958,2	721679,5	764835,9	810573,1	859045,4	910416,3	964859,2	1022558	1083707	1148512	1217193
Доход до налога		23258,2	-36433,49964	-23082	-9366,93	-16291,8	-22808,2	-5062,91	13141,16	31831,44	-116275	-263835	-210042	-155636	-100580	-157582	-44732,9	23790,84	93134,66	163347,6	234481,6
Налог		4651,64	-7286,699928	-4616,41	-1873,39	-3258,36	-4561,64	-1012,58	2628,231	6366,287	-23255	-52767	-42008,5	-31127,2	-20116	-31516,3	-8946,59	4758,168	18626,93	32669,52	46896,31
Доход с вычетом налога		18606,56	-29146,79971	-18465,6	-7493,54	-13033,4	-18246,6	-4050,33	10512,93	25465,15	-93019,9	-211068	-168034	-124509	-80463,9	-126065	-35786,3	19032,67	74507,73	130678,1	187585,3
Денежный поток	-1454000	91306,56	108983,2003	112394,4	116096,5	-191069	132854,3	136977,1	141467	146345,8	-1488020	224289,6	223788,1	223777,3	224286,5	-315839	238266	238274,5	238939,1	240299	242395,7
ЧПС	-997250																				
Цена для ЧПС=0	34,4	РУБ/кВтч																			

Приложение II
(справочное)

Hybrid power plant for power supply of autonomous objects

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM8Ч	Жданов Иван Сергеевич		

Руководитель ВКР:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Обухов Сергей Геннадьевич	д.т.н.		

Консультант – лингвист отделения иностранных языков ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Егорова Юлия Ивановна	к.т.н.		

List of abbreviations

AB - Accumulator battery
AC - Alternating current
ACS - Automatic control system
ATS - Automatic transfer switch
BP - Battery pack
CS - Company standard
DC - Direct current
DG - Diesel generator
ER - Electrical receiver
GDP - Gas-distributing plant
GTL - Gas trunk line
IPS - Independent power supply
LVS - Low-voltage switchgear
PC - Power consumer
PSP - Power supply package
PVM - Photovoltaic module
RES - Renewable energy source
SG - Special group
TGPC - Trunk gas pipeline consumers
WPP - Wind power plant
WG - Wind generator

INTRODUCTION

The urgency of the subject of master's work is due to the need to improve the economic efficiency and reliability of power supply systems for long-distance gas pipeline consumers.

Schematic solutions for the power supply of long-distance consumers of the trunk gas pipeline are based on power supply from power lines, which in turn leads to significant losses of electricity during power transmission and multiple conversion of voltage from 6-10 kV to the required voltage of 0.23-0.4 kV.

Introduction of autonomous power supplies on the basis of RES is one of the promising directions of development of power supply systems for the linear part of the main gas pipeline. Their application will allow reducing the total cost of electricity supply to long-distance consumers of the main gas pipeline.

One of the most important tasks in designing the power supply system on the basis of RES is to optimize the composition and determine the parameters of energy sources, on which the realization of the energy potential of renewable energy resources and the reliability of power supply to consumers strongly depends.

Parameters of equipment and composition of such energy complex will depend on the categorization of consumers, requirements to the quality of power supply and specific conditions of operation, so when determining the composition, capacity and operating modes of consumers it is necessary to take into account these factors.

Factors to be taken into account and compared in determining the economic efficiency of power plants [1]:

- Increase in the cost of traditional energy carriers and increase in electricity tariffs;
- The share of possible replacement of energy and fuel from traditional sources by renewable energy sources;
- Traditional energy pricing;
- Cost of construction of stationary facilities and power transmission lines modernization of networks from traditional sources for organization of power supply, including the use of renewable energy sources;
- Fee for technological connection to power grids;
- Cost of additional measures to ensure the required category of reliability of power supply to consumers;

In the first part I will consider the current state of electricity supply to consumers of gas main pipelines and the possibility of using RES for them. In this part features of power supply of similar

objects will be considered, technical requirements to them will be analyzed. In the second part the analysis of the consumer, an estimation of power potential of considered area, a choice of structure of the equipment, configurations will be made. In the third part the economic comparison of variants, an estimation of expediency of configuration realization on the basis of RES will be executed.

1. LITERATURE REVIEW ON POWER SUPPLY OF AUTNOMUS OBJECTS

1.1 Technical requirements for autonomous energy complexes based on renewable energy sources for power supply to consumers of gas industry

Taking into account the requirements of state and industry regulations it is necessary to formulate general technical requirements for autonomous power plants on the basis of renewable energy sources and energy sources based on them for power supply to main consumers, which are taken into account in the future when justifying the composition and parameters of energy sources with the use of today's known algorithms and methods.

Renewable energy sources are usually represented by a block-built version of a complete plant availability, which should include: power supplies, equipment and facilities for control, metering and distribution of electricity. In addition, if mast wind turbines, small hydroelectric power plants, photovoltaic 22 panels with solar tracking systems, and other installations that are technically difficult to place in a block container, it is virtually impossible to achieve energy efficiency.

The energy complex based on renewable energy sources should provide consumers with electricity in accordance with the quality of electricity required by GOST [6].

Schematic solutions used in the energy complex based on renewable energy should ensure the reliability of energy supply to consumers in accordance with their reliability category, according to STO [5]. Nominal voltages of power plants and energy sources on the basis of renewable sources should correspond to the supply voltage of consumers and can be as follows: 24, 48 V DC, 230 V single-phase AC of 50 Hz frequency, 230/400 V three-phase alternating current of 50 Hz frequency.

The power of receivers should not exceed the rated power of the power supply.

The power complex based on renewable energy should be able to operate at low loads (up to 10% of the rated power).

Power receivers must be connected to the bus sections via circuit breakers. Circuit breakers shall be equipped with trip devices to protect the equipment from short-circuit and overload currents. The time of automatic disconnection of the power supply must not exceed the values according to the Rules [15].

The renewable energy system must be able to withstand a three-phase (single-phase) short circuit for the duration of protection in any load mode (up to 100%) without damage. After a short circuit is switched off, the rated voltage shall be achieved with an accuracy of 1% for a maximum period of 7.5 s.

The power plants included in the renewable energy system should be fully automated, without requiring the constant presence of on-duty personnel.

The basic requirements to control, monitoring and protection of the power supply system, imposed on the control system of conventional power plants in accordance with [16], should be complied

with when creating the control system of the power plant with the power plants on the basis of renewable energy sources.

Depending on the type of RES used, additional requirements to the automated control system of technological processes are imposed on the power supply system control. The volume of automation is set depending on the applied scheme of power supply and types of power plants taking into account the regulatory documentation for these types of power plants (if any).

For wind turbines the volume of mandatory automation at work as a part of power complex should correspond to the specified in [16].

The automatic control system of the power plant should provide its stable operation in all necessary modes, control parameters, as well as to transfer data and output information about its state to the control system of automatic process control system of PSP.

Depending on the type of power plants based on renewable energy sources used within the framework of the energy complex, the process control system should include a system for collecting (monitoring) information on the relevant parameters of renewable energy sources (wind speed, solar radiation, etc.) existing at the moment, as well as the parameters of the generated electricity from renewable energy sources of power plants and transmit information to the software and hardware complex to generate control effects on other systems. The system of collection (monitoring) of information on parameters of renewable energy sources should also be connected with the system of power generation forecasting by power plants on the basis of renewable energy sources in the short and medium term (one hour, one day in advance), the forecast calculations of which are based on existing mathematical models and methods of forecasting with a high degree of probability (up to 95-98%). Information from both systems (monitoring and forecasting) should be provided to the control room.

The automated process control system of the energy complex based on renewable energy sources should ensure the long-term parallel operation of power plants among themselves and with the external network (in case of commissioning from the external network), the distribution of electricity among power plants and the management of common systems of power plants.

Automatic process control system of the power complex on the basis of renewable energy sources should provide the necessary level of reliability and stability of the power supply system in various disturbances, taking into account the requirements for reliability and continuity of power supply to consumers, depending on their categorization in accordance with STO [5].

The automated system of technological processes control on the basis of renewable energy sources should manage the operation modes of power plants, which are part of the energy complex:

- Control over the charge/discharge of energy accumulators, taking into account the requirements of the technological process and the specifics of operation of power plants based on renewable energy sources to ensure uninterrupted power supply, especially to responsible consumers;
- Automatic start-up of a reserve power plant on a conventional energy carrier and automatic connection of the load to its generator via ATS during periods of insufficient generation of electricity from power

plants based on renewable energy sources and when the voltage in the batteries drops below the established limits;

- Automatic return to power supply of the load from power plants operating on renewable energy sources (or from energy storage facilities, depending on the current power supply scheme), when restoring its parameters and when switching off the backup power plant.

Hardware and software of the automated process control system of the power complex on the basis of renewable energy sources should meet the requirements to ensure safe operation in accordance with [16].

Automatic control system of power complex on the basis of renewable energy sources should provide maintenance of parameters of the electric power in the normalized and admissible limits for maintenance of the set quality of the electric power according to [6, 16, 17, 18].

If it is impossible to provide the set parameters of quality of the electric power of the power plants working on renewable energy sources, it is necessary to take additional measures on finishing of indicators of quality to the required values (inclusion of converters, filters, devices of the control and regulation of reactive power etc.) in the scheme with corresponding changes of functions of the automatic control system depending on accepted measures.

In accordance with the requirements [16] automatic control systems of technological processes should be created with the use of SCADA systems designed to control technological processes in the power industry.

To implement the functions of relay protection and local emergency control it is necessary to use multifunctional digital devices of relay protection and automatics of serial production, which are simultaneously devices of the level of control system of automatic control object (terminals) of automatic control system and provide the collection and transfer of all necessary connecting information used for the formation of simulation diagrams of objects, emergency and alarm system, database and archive. Digital relay protection and automation devices should comply with the requirements [19].

In addition to the general requirements to the automated process control system of the PSP, depending on the types of renewable energy sources used in the power plant complex, additional requirements to the automated process control system and additional equipment requiring appropriate automated control can be introduced.

In particular, such requirements can be imposed on wind turbines:

- Setting the wind turbine in protected mode in storm winds exceeding the maximum operating speed of the wind;
- Maintaining the speed and power of the wind turbine at a given level in strong winds;
- control of output voltage, etc.

Additional equipment that requires automated control can include

- Ballast resistances for wind turbines;
- Sun tracking systems for photoelements;
- Maximum power take-off systems for photovoltaic elements, etc;

The renewable energy complex shall be resistant to electromagnetic effects caused by lightning, electrostatic discharges and other electromagnetic influences, as well as to emergency and switching transients in electrical circuits.

In the Energy Complex on the basis of renewable energy sources, technical means should be applied (for example, when installed near a source of pulsed magnetic field), ensuring the stability of electrical equipment to pulsed magnetic fields, which meets the requirements [20].

In the Energy Complex on the basis of renewable energy sources technical means should be applied (for example, when installing near the source of magnetic field of industrial frequency), providing stability of electrical equipment to the magnetic fields of industrial frequency that meet the requirements [21].

General lighting of the equipment located in the units, local lighting of controls and control panels should comply with the requirements [22].

The design of the energy complex on the basis of renewable sources should provide the possibility of local control over the energy complex and power plants.

The design of the energy complex on the basis of renewable sources should ensure fire and explosion safety. General requirements on explosion hazard, explosion protection and explosion protection 25 should correspond to the requirements [23].

Equipment and materials having fire safety certificates in accordance with [29] should be used in the design of renewable energy sources based on renewable sources.

Devices of block-complete execution of a power complex on the basis of renewable energy sources taking into account influence of climatic factors of environment should correspond [30].

Devices of the PSP block-complex design based on RES from the point of view of resistance to external mechanical factors should correspond to [24].

Electrotechnical products based on renewable energy sources in terms of resistance to external climatic factors, indicating the requirements [30], should comply with [25].

The degree of protection of the equipment housings against access to hazardous parts, external solid objects and/or water should be appropriate [26].

The minimum list of signals from an automatic fire alarm and extinguishing system to be transmitted to the control system shall be [27, 28].

CONCLUSION

I studied the experience of using renewable energy sources for power supply of oil and gas industry facilities, which are remote from the central power supply. Usually, in Russia in such regions consumers are supplied by diesel power plants. However it is expensive, there is harmful for the environment carbon emission and there might be interruptions in diesel fuel shipping. This paper presents how integration of renewable source of energy in diesel power plant can help to decrease fuel costs and carbon emission. Also there are more power sources in the hybrid power plant, therefore the reliability is higher.

In this paper I designed a hybrid power plant based on the diesel power plant. When designing a hybrid power plant for such facilities, it is necessary to classify the consumer in accordance with the requirements for the quality of the supply voltage and the reliability of the power source. This classification allows you to determine the types of consumers for which the use of renewable energy is most appropriate, as well as additional measures to improve the quality of electricity supply. Most consumers of main gas pipelines are located in remote places, away from centralized power supplies. It is necessary to install additional equipment, control systems to ensure the stable operation of an autonomous hybrid power plant. For efficient operation, it is necessary to optimize the composition of the hybrid power plant equipment.

I took the initial data of power consumption from the technical data of the company. I studied the terrain of the location of the considering object and evaluated the potential of wind and solar energy. It was decided to use wind generators, as Solar potential in this region is low. After selecting models of wind turbines according to the IEC criterion, I decided to install wind turbines model SW-2,5 kW. Considering all the factors, I designed configurations of the hybrid power plant for the real Rosneft facility under construction.

Six configurations with wind-diesel power supply and one diesel configuration were analyzed. They differ in the number of generator sets, equipment and type of circuits. I made an economic evaluation of the configurations. I estimated costs and investments in the configurations and based on this data I calculated minimal unit electricity prices for each configuration. The best option is Configuration A (4WG) structure 2. Minimum unit electricity price is 22 RUB/kWh. The NPV of this project will be (when selling electricity to the company at a price of 28 RUB/ kWh) 852457.87 RUB. I also rated the minimum price and NPV of a power station that only works with diesel generators. Its minimum price is 34.4 RUB/ kWh, and its NPV is -997 250.45 RUB at a selling price of 28 RUB/kWh. I also did an NPV sensitivity analysis. The graphs in Figures 25-29 show how the NPV depends on the discount rate, escalation rate, changing DG price, changing WG price, changing fuel price.

REFERENCES

- [1] O.A. Turovin, E.N. Ognev, A.E. Kochnev *Alternativnye istochniki ehlektrosnabzheniya neftyanykh obektov kompanii*, 2017, no. 2(4), pp. 69-74. Available at: https://ntc.gazprom-neft.ru/upload/uf/8e3/binder-gpn2_2017.pdf#page=71 [Accessed: October 15, 2019]
- [2] Unified gas supply system of Russia [online] Official website of Gazprom Available at: <http://www.gazprom.ru/about/production/transportation> [Accessed: October 16, 2019]
- [3] Menshov B.G. *Elektrotekhnicheskiye ustanovki i komplekсы v neftegazovoy promyshlennosti*: Textbook for high schools. 2000. – 437 pp.
- [4] Belousenko U.V., Shvarts G.R. et al. *Novyye tekhnologii i sovremennoye oborudovaniye v elektroenergetike neftegazovoy promyshlennosti* 2007. – 478 pp.
- [5] Company standart of Gazprom 2-6.2-1028-2015. *Kategoriynost elektropriyemnikov promyshlennykh obektov PAO Gazprom* Avialable at: <http://gasoproekt.ru/item/792-cto-gazprom-2-62-1028-2015-kategoriynost-ehlektropriemnikov-promyshlennykh-obektov-pao-gazprom> [Accessed: October 20, 2019] -24
- [6] GOST 32144-2013. Electric Energy. Hardware Compatibility. Quality standards for electric energy in general power supply systems
- [7] A.A. Sivkov, D.YU. Gerasimov, A.S. Saigash *Osnovy ehlektrosnabzheniya: uchebnoe posobie* Tomsk Polytechnic University. - Tomsk: Publishing House of Tomsk Polytechnic University, 2012. - 180 pp.
- [8] Artur Sibgatullin, Vladimir Tolmachev. Justification of the Parameters of RES Based Energy Complexes for Trunk Gas Pipeline Consumers // Proceedings 2018 International Ural Conference on Green Energy (UralCon). – 2018. – 114 pp.
- [9] Artur Sibgatullin *Obosnovaniye sostava i parametrov energokompleksa na osnove VIE* // Peter the Great Polytechnic University of St. Petersburg – 2018 – 159 pp.
- [10] Wind turbine specifications AIR-X. Avialable at: https://www.solarhome.ru/wind/uniair_x.htm [Accessed: November 22, 2019]
- [11] Wind turbine specifications AIR breeze. Avialable at: https://www.solarhome.ru/wind/air_breeze.htm [Accessed: November 22, 2019]
- [12] Wind turbines Whisper. Description. Experience of use. Avialable at: <https://msk.manblan.ru/catalog/alternativeenergy/windgenerators/whisper/> [Accessed: November 22, 2019]
- [13] Wind turbines Breeze-5000. Description. Experience of use. Avialable at: http://www.eti.su/elteh/elmachine/powerstation/powerstation_926.html [Accessed: November 22, 2019]
- [14] Experience of implementation of the project of a wind diesel power plant with the installed capacity of 1 MW in the Arctic version for power supply of the residential settlement of Amdarma. Avialable at: https://www.peipk.org/files/seminar/gesan_ge_amderma.pdf [Accessed: November 23, 2019]
- [15] Electrical installation rules (edition 7th) (approved by the order of the Ministry of Energy of Russia from 08.07.2002 No. 204)
- [16] STO Gazprom 2-2.1-372-2009. Energy sector of OAO Gazprom. Automatic process control system of power plants of OAO Gazprom. Technical requirements.

- [17] GOST 721-77. Power supply systems, networks, sources, converters and receivers of electric energy. Nominal voltages over 1000 V (with Changes No. 1, 2, 3).
- [18] GOST 21128-83. Power supply systems, networks, sources, converters and receivers of electric energy. Nominal voltages up to 1000 V (with Change number 1).
- [19] STO Gazprom 2-1.11-661-2012. Digital relay protection and automation devices for power supply systems. Technical requirements.
- [20] GOST 30336-95 (MACK 1000-4-9-93)/ GOST P 50649-94 (MACK 1000-4-9-93). Compatibility of technical means is electromagnetic. Resistance to the pulsed magnetic field. Technical requirements and test methods.
- [21] GOST OF P 50648-94 (MACK 1000-4-8-93). Compatibility of technical means is electromagnetic. Resistance to the magnetic field of industrial frequency. Technical requirements and test methods.
- [22] SP 52.13330.2011. Natural and artificial lighting (updated edition of SNIP 23-05-95).
- [23] GOST 12.1.010-76. SSBT. Explosion safety. General requirements (with Amendment No. 1).
- [24] GOST 17516.1-90. Electrotechnical products. General requirements in terms of resistance to mechanical external influencing factors (with Modification No. 1).
- [25] GOST 15543.1-89. Electrotechnical products. General requirements in terms of resistance to climatic external factors.
- [26] GOST 14254-96 (MACK 529-89). Degrees of protection provided by shells.
- [27] NPB 88-2001. Firefighting and alarm systems. Design standards and rules (with Modification No. 1).
- [28] SP 5.13130.2009. Fire protection systems. Fire alarm and extinguishing systems are automatic. Design standards and rules (Modification No. 1).